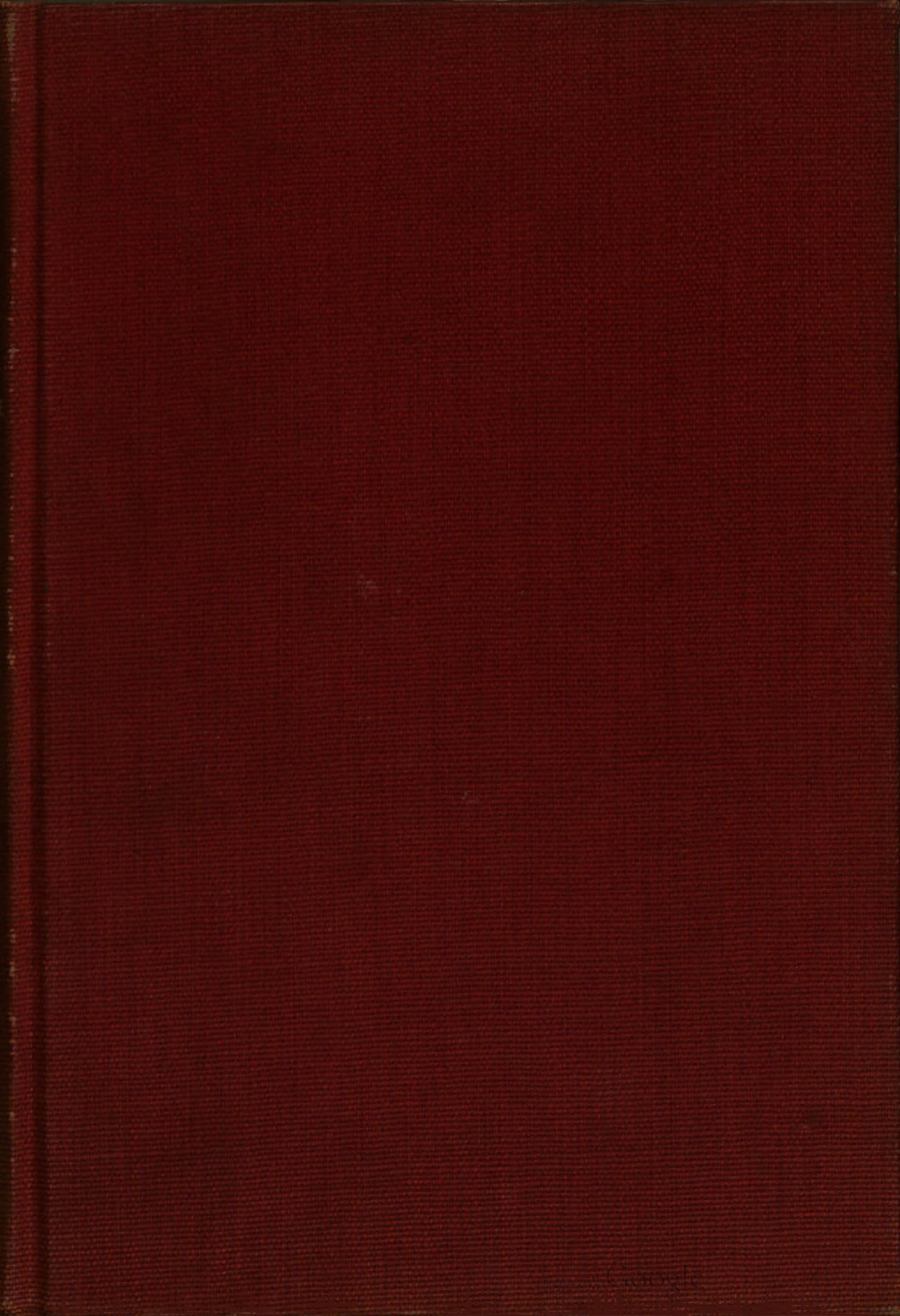
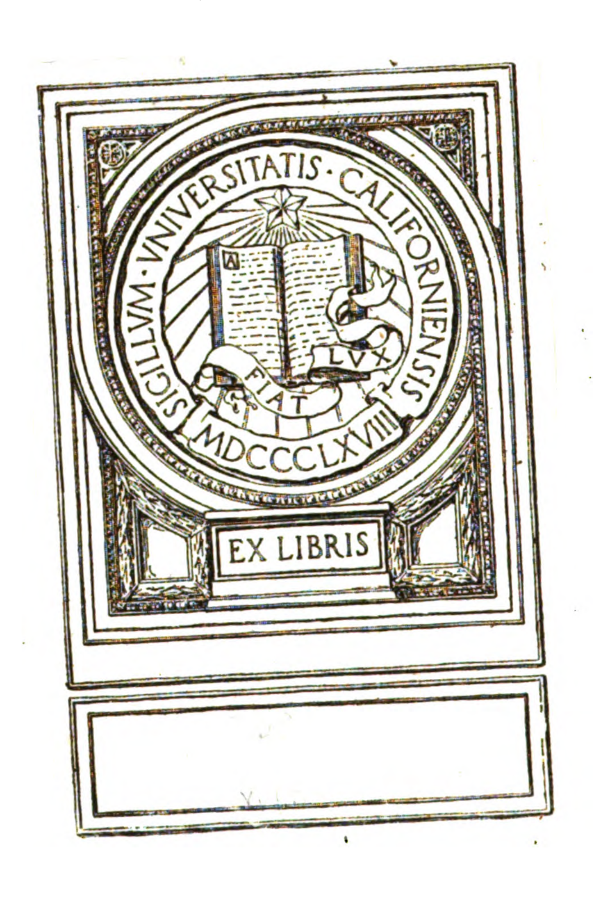



SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS



XIII. Band. Ausgegeben im November 1913. Heft 1.

# ZEITSCHRIFT

für

# wissenschaftliche Photographie Photophysik und Photochemie.



Begründet von

**E. Englisch** (Stuttgart) und **K. Schaum** (Marburg a. L.)

unter Mitwirkung befreundeter Fachgenossen

und insbesondere von

**H. Kayser,**

o. ö. Professor an der Universität Bonn

herausgegeben von

**K. Schaum,**

a. o. Professor an der Universität zu Leipzig.






1913

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig

Dörrienstraße 16

*Die Zeitschrift erscheint in zwanglosen Heften. Der Band = 12 Hefte kostet Mark 20.— nach dem Auslande unter Aufschlag des Portos.*

*Inseraten-Annahme durch Max Gelsdorf, Eberswalde.*



## Inhaltsverzeichnis.

### Originalarbeiten.



Alle Anfragen, Manuskriptsendungen etc. sind zu richten an **Professor Dr. K. Schaum, Leipzig-Marienhöhe,** Naunhoferstraße 22.

Die Redaktion bittet die Verfasser einschlägiger Werke und Monographien, sowie deren Verleger, um Zusendung von Rezensionsexemplaren, um eine schnelle und vollständige Berichterstattung zu ermöglichen.





# ZEITSCHRIFT

für

# wissenschaftliche Photographie Photophysik und Photochemie.

Unter Mitwirkung befreundeter Fachgenossen

und insbesondere von

**H. Kayser,**
o. ö. Professor an der Universität Bonn

herausgegeben von

**K. Schaum,**
o. Professor an der Universität in Gießen.

## BAND XIII.

**Mit fünf Tafeln.**




Leipzig, 1914.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

# Inhalt des XIII. Bandes.

**(November 1913 bis Mai 1914.)**

---

## Originalarbeiten.

## Bücherbesprechungen.

# Namen- und Sachregister.

Bücherbesprechungen sind durch * bezeichnet.

Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie,
Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1913. Heft 1.

# Das Bogen- und Funkenspektrum von Aluminium in I. A.

Von

Rainer Grünter.

## Einleitung. Frühere Messungen.

Vorliegende Arbeit, deren Entstehung ich der Anregung des Herrn Geheimen Regierungsrates Professor Dr. Kayser verdanke, hat den Zweck, eine genaue Messung des Aluminiumspektrums im Bogen und Funken zu geben, und zwar bezogen auf die internationalen Normalen.

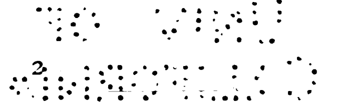
Von den Arbeiten, die über das Aluminiumspektrum erschienen sind, führe ich nur die allerneuesten Arbeiten der drei letzten Jahre an. Alle früheren Untersuchungen finden sich bereits sorgfältig und mit einer kurzen Inhaltsangabe zusammengestellt in Kayser, Handbuch der Spektroskopie, Bd. V.

Nachdem Paschen bereits im Luftbogen an einem Konkavgitter von 3 m Krümmungsradius die Linien $\lambda = 6698$, $\lambda = 6696$, $\lambda = 5558$, $\lambda = 5557$, $\lambda = 5105$ gefunden hatte und mittels Bolometer eine ganze Reihe starker Linien im Ultrarot von $\lambda = 8775,1$ A.-E. bis $\lambda = 21\,163,8$ A.-E. festgestellt hatte, untersucht er das Spektrum des Aluminiums noch weiter ins Ultrarot hinauf. Er bedient sich einer besonders konstruierten Thermosäule (Eisen-Konstantan) und Galvanometer, ferner eines Steinsalzprismas und eines Rowlandschen Konkavgitters mit einer geteilten Fläche von 13 cm Breite, 142,1 Strichen pro Millimeter und von 162,6 cm Krümmungsradius. Durch den Ausschlag des Galvanometers konnte er im Aluminiumspektrum zwei Intensitätsmaxima bei $\lambda = 39\,082$ und $\lambda = 39\,139$ A.-E. feststellen, die aber beide durch Glas völlig absorbiert wurden.

E. Janicki stellt Untersuchungen an über die Struktur der Spektrallinien und berichtet über die starken Linien des Aluminiums









bei $\lambda = 3961,7$ A.-E. und $\lambda = 3944,2$ A.-E. Beide Linien verhalten sich gleich; bei einer Stromstärke von 1,5 Amp. erhielt er die Linien ohne Umkehr, bei Steigerung der Stromstärke kehrten sich beide um.

In dem Funkenspektrum des Aluminiums finden Eder und Valenta unter Umständen ein sehr helles Linienpaar von der Wellenlänge: $\lambda = 5696,62$ und $\lambda = 5722,55$ A.-E. und sagen, daß diese Linien nur in der Nähe der Metallelektroden besonders hell erscheinen.

Ebenfalls veröffentlichten Eder und Valenta in einer anderen Arbeit die Wellenlängen der bereits von Paschen gefundenen Linien im Bogenspektrum:

| Paschen | Intensität | Eder und Valenta | Intensität |
|---|---|---|---|
| 6698,936 | 4 | 6699,02 | 4 |
| 6696,269 | 6 | 6696,32 | 6 |
| 5558,167 | 5 | 5558,37 | 3 |
| 5557,263 | 7 | 5557,57 | 5 |

Franz Ludwig Wagner untersuchte das Spektrum der Luft, indem er den Funken zwischen Cu-, Ag- und Al-Elektroden überspringen ließ. Er fand, daß gewisse Luftlinien nur zwischen Cu-Elektroden, andere nur zwischen Ag-Elektroden und wieder andere nur zwischen Al-Elektroden auftreten, daß ferner auch die Intensitäten und das Aussehen der Linien sich mit den Elektroden ändert. Er erhält die wesentlichen Funkenlinien des Aluminiums von $\lambda = 3961$ A.-E. bis $\lambda = 2269$ A.-E., die ich bei meinen Aufnahmen auch gefunden habe.

Ebenfalls über die Funkenlinien im Bogenspektrum des Aluminiums berichtet James Barnes, der dasselbe unter verschiedenen Bedingungen untersucht hat. Er stellt einen deutlichen Unterschied fest in den relativen Intensitäten vieler Linien des Bogens im Vakuum im Vergleich mit ihren Intensitäten in Luft, wobei alle anderen Bedingungen, besonders die Stromstärke konstant gehalten wurde. Die Stromstärke betrug 3 Amp. Wenn der Druck der Luft, die den Bogen umgab, 0,5 cm war, so erschienen die charakteristischen Funkenlinien $\lambda = 4663$, $\lambda = 3587$, $\lambda = 2631$ A.-E. mit ganz beträchtlicher Intensität. Die Linie $\lambda = 2816$ A.-E. zeigte ein Anwachsen der Intensität im Vakuumbogen. Im allgemeinen zeigte

sich ein Zunehmen der Intensität der Funkenlinien, wenn der Druck vermindert wurde.

Seine Beobachtungen zeigen ferner, daß die vier Gruppen von Banden, die zwischen $\lambda = 5211$ und $\lambda = 4471$ A.-E. liegen, genau so stark auftreten in dem Bogen in Luft unter einem Druck von ein oder zwei Millimeter, wie in Luft unter Atmosphärendruck. Er schließt sich der Ansicht Hemsalechs und Hartleys an, daß die Banden nicht dem Oxyd sondern dem Metall selbst angehören. Er findet ebenfalls vier Banden bei $\lambda = 4241$, $\lambda = 4260$, $\lambda = 4288$ und $\lambda = 4353$, welche Basquin zuerst beobachtet hatte bei einem in Wasserstoff rotierenden Bogen. Barnes sagt, daß diese Banden sehr stark beim Bogen im Vakuum erscheinen, während sie beim Bogen in Luft nicht erscheinen. Er gibt eine Photographie davon und gibt ihre Wellenlängen an, wobei er sich auf die Normalen des Internationalen Systems bezieht. Die Kanten gibt er an zu:

$\lambda = 4241{,}21$ A.-E., $\lambda = 4259{,}68$ A.-E., $\lambda = 4353{,}27$ A.-E.

James Pollak bringt Aluminium in eine Vakuumröhre und bringt es durch einen untergesetzten Brenner zum Verdampfen. Er findet, daß Aluminium in der Vakuumröhre kein Spektrum liefert. Wohl erscheinen die charakteristischen Paare des Aluminiumspektrums bei dem Aluminiumchlorid, und zwar sowohl mit wie ohne Kondensator. Ohne Kondensator und wenn viel Dampf in der Röhre vorhanden, gibt Aluminiumchlorid eine stärkere Bande von $\lambda = 2750$ A.-E. bis $\lambda = 2610$ A.-E. und eine schwächere von $\lambda = 2610$ A.-E. bis $\lambda = 2590$ A.-E. Mit Kondensator verschwindet die schwächere Bande und die andere ist kürzer geworden.

Über die Beschaffenheit und die Verteilung der Emission im Bogenspektrum des Aluminiums berichtet Heinrich Oellers.

Das kontinuierliche Spektrum erscheint durchweg am positiven Pole verstärkt.

Die Stellung der Pole hat auf die relativen Intensitäten der einzelnen Flammen keinen Einfluß.

Die vier Banden präsentieren sich als wolkenartige Gebilde. Ihre größte Lichtstärke liegt nicht an den Elektroden, sondern in der Mitte des Bogens, jedoch mehr zum positiven als zum negativen Pole hin. Bei kurzer Bogenlänge reichen sie auch wohl nach beiden Seiten über das kontinuierliche Spektrum hinaus, namentlich über das des positiven Poles.

Die beiden Linien 3962 und 3944 sitzen mit breiterer Basis am positiven Pole auf und haben eine tonnenförmige Gestalt.

Die übrigen Flammenbilder sind an den Elektroden lichtstärker als in der Mitte und außerdem im allgemeinen stärker am positiven als am negativen Pol. Mit nadelknopfartigen Ansätzen erscheinen sie an den Polen; bei kurzer Expositionszeit zeigen sich nur diese Ansatzstellen, und zwar zuerst die am positiven Pole, so daß auf manchen Platten nur diese letztere sich findet. Die Flammen haben in der Mitte schlauchförmige Gestalt. Ihre Intensität nimmt von den Polen nach der Mitte und von der Achse des Bildes nach außen hin ab. In einzelnen Fällen zeigt sich an der positiven Elektrode ein büschelartiges Gebilde. Nach dem Ultraviolett hin wird die Ansatzstelle der Bilder schmaler.

Wali-Mohammed untersucht die Struktur und magnetische Zerlegung der starken Aluminiumlinien im Vakuumlichtbogen und erhält dieselben Resultate wie Janicki.

Schon Handke hatte die kurzen Wellenlängen des Aluminiums untersucht mittels Vakuumspektroskop und war bis $\lambda = 1605{,}9$ A.-E. gekommen.

Lyman führte eine Verbesserung ein, indem er ein Konkavgitter an Stelle eines Prismas anwendete und den Funken in einem Gefäß laufen ließ, durch welches ein fortwährender Strom von Wasserstoff ging. Das so erzeugte Licht ging direkt von der Funkenkammer durch ein Fluoritfenster in das Spektroskop. Auf diese Weise wurde die Absorption der Luftschichten zwischen dem Funken und dem Fenster beseitigt. Zur selben Zeit half der Wasserstoffstrom den Lichtweg von der Gasproduktion des Funkens befreien. Bei dieser Anordnung stellte Lyman eine ziemliche Anzahl von Linien zwischen $\lambda = 1862{,}8$ A.-E. bis $\lambda = 1238{,}8$ A.-E. fest.

H. Lehmann untersuchte das Aluminiumspektrum im Ultrarot. Er wendete das phosphorophotographische Verfahren mittels Sidotblende an. Die Expositionszeit bei diesem Verfahren betrug nur Bruchteile von Minuten. Lehmann führt folgende Tabelle an:

| Lehman | | I. | Diff. | Paschen | I. | Becquerel |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 669,68 | | 2 | −0,2 | 669,89 | 4 | |
| — | | | | 669,63 | 6 | |
| 783,35 | | 2 | | — | | |
| 877,01 | | 2 | −0,5 | 877,51 | 50 | |
| 1122,92 | u | 3 | −2,6 | 1125,55 | 300 | 1128 } breit u. |
| 1310,2 | | 1 | −2,3 | 1312,54 | 400 | 1361,5 } stark |

## Eigene Untersuchungen.

Die photographischen Aufnahmen des Aluminiumspektrums machte ich an einem Rowlandschen Konkavgitter von 6,34 m Krümmungsradius, das 20000 Furchen pro inch (= 2,54 cm) besitzt. Die Gitteranordnung ist dieselbe wie die von Kayser angegebene (Handbuch der Spektroskopie, Bd. I).

Die Justierung des Apparates geschah in der dort ebenfalls angegebenen Art und Weise. Um mich davon zu überzeugen, ob wirklich der Spalt genau parallel den Gitterfurchen stand, belichtete ich mit verhältnismäßig kleinem Bogen den Spalt einige Minuten in der Nähe des oberen Endes, dann wieder einige Minuten in der Nähe des unteren Endes. Waren Spalt und Gitterfurchen genau parallel, so mußten die oben und unten auf der Platte befindlichen Linien genau ineinander übergehen, die oberen genau die Fortsetzung der unteren bilden. Dasselbe könnte man auch erreichen mit einem Bogen, der so weit auseinandergezogen ist, daß er den ganzen Spalt bedeckt. Dies erscheint mir umständlicher, da der Bogen häufig erlischt und man auch länger belichten muß. Diese Probeaufnahmen machte ich mit einem Eisenbogen, da dieser bei verhältnismäßig kurzer Belichtungszeit eine große Anzahl scharfer Linien im Spektrum erzeugt.

Als Vergleichsspektrum warf ich auf mein Aluminiumspektrum ebenfalls ein Eisenspektrum. Bei meinen ersten Aufnahmen warf ich zuerst auf die Platte das Aluminiumspektrum, blendete dann die Platte an der Kasette zur Hälfte ab und warf auf die freie Plattenhälfte das Eisenspektrum. Hierbei kann es leicht vorkommen, daß sich das eine Spektrum gegen das andere verschiebt, sei es durch eine kleine Erschütterung der Kasette bei Handhabung des Schiebers, durch Temperaturerhöhung des Gitters, oder durch Druckveränderung im Bogen u. a. Es empfiehlt sich daher, Eisen und Aluminium zusammen während der ganzen Aufnahme auf die Platte zu werfen, indem man als den einen Pol Eisen und als den anderen Pol Aluminium nimmt. Diese Methode ist jedoch nur vorteilhaft bei kurzen Aufnahmen. Bei längeren Aufnahmen von einer Stunde und mehr werden die Eisenlinien und somit die Normalen so dick, daß sie beim Messen nicht mehr genau eingestellt werden können. Hier habe ich mir so geholfen, daß ich das Aluminium, welches ich als Pulver in eine ausgebohrte Kohle von 9 mm Durchmesser

brachte, mit etwas Eisenpulver vermischte. Ich erhielt so Eisen als Verunreinigung auf der Platte, ohne daß die Eisennormalen zu breit wurden. Zum Schlusse warf ich trotzdem auf die Hälfte der Platte ein Eisenspektrum, damit ich die Eisennormalen von Aluminiumlinien leicht unterscheiden konnte. Es ließ sich so leicht feststellen, ob auf der Platte eine Verschiebung war, indem ich die Eisennormalen einmal ca. 0,5 cm von der Mitte nach unten gemessen habe, ein anderes Mal ca. 0,5 cm von der Mitte nach oben, wo ich die Eisennormalen als Verunreinigung hatte.

Anstatt Aluminiumpulver in Kohle habe ich auch Aluminiumstäbe als Elektroden versucht. Diese schmolzen jedoch zu schnell ab. Brachte ich die Stäbe in Kohle, so erlosch der Bogen fast jede Minute. Bei Aluminiumpulver brannte der Bogen durchschnittlich $^1/_2$ Stunde, ohne zu erlöschen, jedoch auch hier nur bei einem Strom von 6—8 Amp. und einer Spannung von 220 Volt.

Bei den Funkenaufnahmen benutzte ich als Elektroden 5 mm dicke Aluminiumstäbe. Um den Funken an derselben Stelle zu halten, spitzte ich die Elektroden keilförmig zu und stellte die scharfen Kanten gegenüber.

Den Strom für den Funken lieferte eine Wechselstrommaschine, deren ursprüngliche Spannung von 160 Volt durch einen Resonanzinduktor auf 30000 Volt erhöht wurde. Mit der Sekundärspule des Induktors war eine Batterie von 6 Leidener Flaschen verbunden, an die der Sicherheitsfunke angeschlossen war. Die Funkenstrecke betrug 6—8 mm, die Intensität des Primärstromes betrug 6—9 Amp. Als Platten für meine Aufnahmen benutzte ich größtenteils Dr. Schleußners Gelatineemulsionsplatten und orthochromatische Platten. Einige Platten bezog ich von der Firma Westendorp & Wehner, habe sie aber weiterhin nicht benutzt, weil sie mir wegen ihres gröberen Korns für die Messungen weniger geeignet erschienen. Für den roten Teil des Spektrums stellte ich mir rotempfindliche Platten aus gewöhnlichen Schleußnerplatten mittels folgendem Sensibilisierungsverfahren her. Die Platten wurden 4 Minuten lang unter langsamem Hin- und Herschütteln in folgender Lösung gebadet:

| | | |
|---|---|---|
| 125 | ccm | Aqua destillata |
| 90—95 | „ | Alkohol (97 %iger) |
| 2,1 | „ | Pinaverdol (1 Teil P: 2000 Teilen Alkohol) |
| 3 | „ | Dizyanin (1 „ D: 1000 „ „ ) |

2,7 ccm Pinazyanol (1 Teil P: 1000 Teilen Alkohol)
2,1 „ Homokol (1 „ H: 1000 „ „ )
8—12 „ Ammoniak.

Darauf wurden die Platten 1 Minute in reinem Alkohol gewaschen und mit Hilfe eines Ventilators getrocknet. Die so sensibilisierten Platten wurden noch am selben Tage zur Aufnahme benutzt, da die Empfindlichkeit bei den frisch hergestellten am größten war. Entwickelt wurden die Platten mit Agfa-Rodinal und fixiert mit unterschwefligsaurem Natron.

Von $\lambda = 2500$ A.-E. bis $\lambda = 5800$ A.-E. wurde das Spektrum in II. Ordnung photographiert, die anderen Aufnahmen erfolgten in I. Ordnung. Wo Linien verschiedener Ordnung sich überdeckten, wurden die Linien der einen absorbiert mittels einer mehr oder weniger konzentrierten Kaliumbichromatlösung, Wasser oder Glas. Bei der großen Dispersion des Gitters lagen die Linien der II. Ordnung, deren Wellenlängen sich um 1 A.-E. unterscheiden, 1 mm auseinander, so daß auf die benutzten Platten von 50 cm Länge 500 A.-E. kamen. Die Aufnahmen machte ich nun so, daß die Linien bei der folgenden Stellung zur Hälfte auf der Aufnahme bei der vorhergehenden Stellung sich befanden. Durch Messen der schärfsten Linien der übereinanderliegenden Teile der beiden Platten konnte ich eine eventuelle Verschiebung der Aluminiumlinien gegen die Eisenlinien feststellen. Diese Methode konnte ich vollständig nur in meinem Bogenspektrum anwenden, da ich nur hier scharfe Linien durch das ganze Spektrum hatte, seien es nun Aluminiumlinien oder scharfe Verunreinigungen. In dem Funkenspektrum dagegen war eine exakte Vergleichung der Platten auf Tausendstel Angström nur möglich bis $\lambda = 3961$, da ich nur unterhalb Umkehrlinien im Funken erhielt, die auf Tausendstel Angström zu messen waren. Oberhalb $\lambda = 3961$ sind die Funkenlinien so unscharf und verschwommen, daß ich auf derselben Platte bei verschiedenen Messungen einer Linie Differenzen von über 0,01 A.-E. erhielt, bei sehr verschwommenen Linien bis 0,03 A.-E. Eine Verschiebung von 0,01 bis 0,03 A.-E., welches die gewöhnlichste ist, würde also nicht sicher festgestellt werden können.

Die Belichtungszeit beim Bogen variierte von 20 Minuten bis zu $3^1/_2$ Stunden, beim Funken von 20 Minuten bis zu 6 Stunden. Allgemein war die Belichtungszeit beim Funken doppelt so groß wie beim Bogen. Wo an einer Stelle starke und schwache Linien

sich befanden, machte ich für die starken Linien eine sehr kurze Aufnahme, um eine Verschiebung möglichst zu vermeiden. So konnte ich bei einer 2stündigen Expositionszeit einer Platte des Funkenspektrums bei den Linien von $\lambda = 3092$ bis $\lambda = 3050$ A.-E. eine Verschiebung von 0,03 A.-E. nach Rot hin feststellen. Bei einer Aufnahme von nur $^1/_2$ Stunde erhielt ich vollständige Übereinstimmung der Linien mit den Linien auf der Platte der vorhergehenden Stellung und außerdem sehr gute Übereinstimmung mit denselben Linien des Bogens. Infolge der großen Dispersion des Gitters war es mir nicht möglich, alle Linien, die Exner und Haschek im Funken angeben, zu bekommen. Es sind dies jedoch nur sehr schwache Linien, die bei Exner und Haschek mit der Intensität 1 und als unscharf und breit bezeichnet sind.

Das Ausmessen der Platten wurde auf einer von Geheimrat Kayser angegebenen und von H. Wolz in Bonn erbauten Teilmaschine vorgenommen. Die Schraubenganghöhe beträgt 0,33 mm. Mittels eines Druckapparates kann man die Hundertstel einer Schraubenumdrehung genau ablesen und die Tausendstel noch abschätzen. Eine genaue Beschreibung über die Handhabung des Apparates findet sich in Kayser, Handbuch der Spektroskopie, Bd. I. Als Eisennormalen benutzte ich von $\lambda = 6945$ bis $\lambda = 4282$ die internationalen, unterhalb $\lambda = 4282$ bis $\lambda = 2373$ die von Fabry und Buisson angegebenen. Die Linien mit kürzerer Wellenlänge als $\lambda = 2373$ wurden mittels Extrapolieren gemessen. Auch hier erhielt ich trotz der Extrapolation sehr genaue Werte, da ich die Linien $\lambda = 2373{,}132$, $\lambda = 2367{,}061$, $\lambda = 2269{,}091$ und $\lambda = 2263{,}450$ im Funken auch in III. Ordnung messen konnte und genaue Übereinstimmung mit den Werten der I. Ordnung erhielt. Ferner habe ich darauf geachtet, daß die Messungen an verschiedenen Stellen der Schraube ausgeführt wurden. Bei jeder Messung, die zwischen zwei Eisennormalen erfolgte, wurde jede Linie viermal eingestellt, wobei die Schraube zweimal vorwärts und rückwärts gedreht wurde. Außerdem wurde nach einmaligem Hin- und Hergang die Schraube um 180° weiter gedreht und die Normale neu eingestellt, so daß der periodische Fehler der Schraube eliminiert wurde. Aus den vier Einstellungen wurde das Mittel genommen; aus dieser Umdrehungszahl, der Differenz der Wellenlängen beider Normalen und der Umdrehungszahl zwischen den Normalen, konnte die Wellenlänge für die betreffende Linie bestimmt werden. Die Einstellung geschah mit dem Fadenkreuz des Mikroskops, bei umgekehrten

Linien auf die Mitte der hellsten Stelle, bei den anderen auf die Mitte oder das Maximum der Schwärzung. Sehr breite Linien und einseitig verbreiterte Linien habe ich auch an der Spitze gemessen, wenn sich das Maximum der Schwärzung nicht genau feststellen ließ. Einige sehr schwache Linien waren unter dem Mikroskop der Teilmaschine gar nicht zu sehen. Ihre Wellenlängen ließen sich nur dadurch bestimmen, daß ich sie mehrfach möglichst genau anpunktierte und diese Punktierungen gemessen habe.

Zum Vergleiche habe ich neben meinen Messungen diejenigen von Kayser und Runge im Bogen und die neuesten Messungen von Exner und Haschek im Bogen und Funken angeführt.

Die Intensitäten habe ich nach der Methode von Professor H. Kayser mit den Zahlen von 0 bis 10 bezeichnet, wo die Zahl 10 für die stärksten, die Zahl 0 für die schwächsten Linien gilt.

In meinen Tabellen bedeuten die Zeichen:

R = umgekehrt,
r = nach Rot verbreitert,
v = nach Violett verbreitert,
u = unscharf,
U = sehr unscharf,
W = breiter Wisch.
Die mit einem Sternchen * versehenen Linien sind anpunktiert.

In den Tabellen von Exner und Haschek bedeutet:

+ = unscharf,
br = breit.

Wie aus der Charakterisierung der Linien hervorgeht, habe ich eine Reihe Linien erhalten, die umgekehrt sind, während Exner und Haschek sie als Linien erhalten haben, die nach Rot abschattiert sind. Bei diesen Linien habe ich eine größere Abweichung von den Werten, die Exner und Haschek angeben. Die im Bogen auftretenden Umkehrlinien habe ich auch fast alle im Funken als umgekehrte Linien erhalten und, wie zu ersehen ist, stimmen die Werte im Bogen und Funken für diese Linien, die hauptsächlich für eine Gesetzmäßigkeit in Betracht kommen, auf einige Tausendstel A.-E. überein. Verschiedenheiten zwischen Bogen und Funken habe ich bei folgenden Linien:

| Bogen | | Funken | |
|---|---|---|---|
| 2575,411 | 3 R | 2575,449 | 2 r |
| 2378,408 | 3 | 2378,441 | 2 r |
| 2372,084 | 3 | 2372,045 | 3 v |

Die Unterschiede erkläre ich mir folgendermaßen: Die im Funken auftretenden Linien habe ich als nach einer Seite hin abschattierte Linien gefunden und bezeichnet und dieselben an der dunkelsten Stelle gemessen. In Wirklichkeit glaube ich aber, daß die Linien umgekehrt sind, wobei aber die eine Komponente so schwach erschienen ist, daß sie unter dem Mikroskop nicht mehr wahrgenommen werden konnte. Diese Linien konnte ich daher nicht wie Umkehrlinien einstellen und messen, d. h. an der hellsten Stelle, sondern wie einseitig abschattierte Linien an der dunkelsten Stelle. Je nach der Abschattierung erhielt ich zu hohe und zu niedrige Werte gegen den Bogen. Die Wellenlängen für diese Linien im Bogen sind ganz zuverlässig, da im Bogen die Linien sehr scharf erschienen.

Die von mir gemessenen Linien im Funken von $\lambda = 3050$ bis $\lambda = 3066$ habe ich als nach Rot abschattierte Linien bezeichnet; sie zeigen aber eine sehr scharfe Kante in Gestalt einer deutlichen Linie, welche ich bei der Messung genau einstellen konnte. Exner und Haschek charakterisieren die Linien weiter nicht und hieraus glaube ich den Unterschied ihrer Werte mit den meinigen erklären zu können.

Die bereits von Paschen gefundenen Linien habe ich auch erhalten, $\lambda = 6698$, $\lambda = 6696$, $\lambda = 5558$, $\lambda = 5557$. Die letzten beiden Linien erhielt ich jedoch nicht sehr stark, dazu in einer Bande liegend, so daß sie schwer zu messen waren. Auch bei einer Aufnahme von 3 Stunden, die ich mit einer selbst sensibilisierten Platte machte, erhielt ich die beiden Linien sehr schwach.

Ebenfalls habe ich auf meinen Platten die Linien, die Exner und Haschek mit $\lambda = 3242,85$ (1), $\lambda = 3236,94$ (1), $\lambda = 3228,27$ (2) angeben, nicht bekommen, obgleich ich bei dieser Stellung fünf Aufnahmen gemacht habe, und so lange belichtet habe, daß ich fast alle Verunreinigungen hatte.

Tabelle 1.

| Kayser u. Runge | | Exner und Haschek | | | | Grünter | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Bogen | | Funke | | Bogen | | Funke | |
| | | | | | | 6698,734 | 3 | | |
| | | | | | | 6696,064 | 3 | | |
| | | | | 6245,3 | 2 + br | | | 6245,05 | 2 u |
| | | | | 6234,0 | 1 + br | | | 6233,60 | 1 u |
| | | 6193,5 | 1 + br | | | | | | |
| | | 6177,8 | 1 + br | | | | | | |
| | | 6170,6 | 1 + br | | | | | | |
| | | 6151,9 | 1 + br | | | | | | |
| | | | | 5722,80 | 5 + | | | 5722,65 | 2 u |
| | | | | 5696,71 | 10 + | | | 5696,47 | 3 u |
| | | | | | | 5557,95 | 1 u | | |
| | | | | | | 5557,08 | 1 u | | |
| | | | | 4703,2 | 1 + br | | | | |
| | | | | 4701,5 | 1 + br | | | | |
| | | | | 4673,0 | 1 + br | | | | |
| | | | | 67,4 | 1 + br | | | | |
| | | | | 63,55 | 5 + | | | 4663,363 | 5 u |
| | | | | 4590,0 | 1 + br | | | | |
| | | | | 79,5 | 1 + br | | | | |
| | | | | 68,0 | 1 + br | | | | |
| | | | | 65,0 | 1 + br | | | | |
| | | | | 29,7 | 10 + br | | | 4529,49 | 8 u |
| | | | | 13,00 | 5 + br | | | 4512,84 | 6 u |
| | | | | 11,0 | 1 + br | | | | |
| | | | | 4480,0 | 5 + br | | | 4879,0 | 5 W |
| | | | | 66,65 | 1 + br | | | | |
| | | | | 48,4 | 1 + br | | | | |
| | | | | 00,4 | 1 + br | | | | |
| | | | | 4371,0 | 1 + | | | | |
| 3961,68 | 10 R | 3961,71 | 1000 u | 3961,74 | 100 | 3961,540 | 10 R | 3961,538 | 10 R r |
| 44,16 | 10 R | 44,20 | 800 u | 44,22 | 50 r | 44,032 | 10 R | 44,027 | 10 R r |
| | | | | 00,83 | 2 | | | 00,68 | 2 |
| | | | | 3810,16 | 1 | | | | |
| | | | | 04,23 | 1 | | | | |
| | | | | 3791,92 | 1 | | | | |
| | | | | 88,8 | 1 + br | | | | |
| | | | | 85,5 | 1 + | | | | |
| | | | | 82,40 | 1 + | | | | |
| | | | | 81,4 | 1 + br | | | | |
| | | | | 79,22 | 1 | | | | |
| | | | | 75,20 | 1 + | | | | |
| | | | | 72,25 | 1 + | | | | |
| | | | | 40,4 | 1 + | | | | |
| | | | | 13,85 | 3 + br | | | 3713,60 | 3 u |
| | | | | 02,70 | 2 + br | | | 02,57 | 2 u |
| | | | | 3612,62 | 20 + | | | 3612,47 | 7 u |
| | | | | 01,98 | 30 + | | | 3601,74 | 8 u |
| | | | | 3587,05 | 100 + br | | | 3586,82 | 10 U |
| | | | | 64,0 | 1 + br | | | 63,9 | 0 u |
| | | | | 61,9 | 1 + br | | | 61,73 | 1 u |
| | | | | 39,3 | 1 + br | | | 39,15 | 0 u |
| | | | | 35,7 | 1 + br | | | 35,47 | 0 u |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser u. Runge | | Exner und Haschek | | | | Grünter | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Bogen | | Funke | | Bogen | | Funke | |
| | | | | 3534,4 | 1+br | | | 3534,2 | 0U* |
| | | | | 27,33 | 1+ | | | 27,15 | 0U* |
| | | | | 05,1 Ti | 1+br | | | — | |
| | | | | 03,7 | 1+br | | | 03,56 | 1u |
| | | | | 3492,05 | 1+br | | | 3491,80 | 1u |
| | | | | 3336,2 | 1+br | | | 3336,12 | 1u |
| | | | | 18,6 | 1+br | | | 18,47 | 1u |
| | | | | 01,98 | 1+ | | | 01,86 | 1u |
| | | | | 3286,0 | 1+ | | | 3286,834 | 1 |
| | | 3242,85 | 1 | | | | | | |
| | | 36,94 | 1 | | | | | | |
| | | 28,27 | 2 | | | | | | |
| | | | | 3138,9 | 1+ | | | | |
| 3092,95 | | 3092,98 | | 3092,95 | | 3092,843 | 6R | 3092,851 | 4R |
| 92,84 | 6R | 92,87 | 1000u | 92,82 | 15r | 92,716 | 10R | 92,720 | 10Rr |
| 82,27 | 10R | 82,30 | 500u | 82,30 | 10r | 82,159 | 10R | 82,162 | 10Rr |
| 66,28 | 6 | 66,28 | 3 | 66,40 | 1+ | 66,162 | 4 | 66,162 | 3r |
| 64,42 | 6 | 64,43 | 3 | 64 55 | 1+ | 64,304 | 4 | 64,308 | 3r |
| 60,04 | 6 | 60,04 | 1 | — | | 59,933 | 2 | 59,938 | 1r |
| 57,26 | 6 | 57,27 | 4 | 57,40 | 2 | 57,155 | 5 | 57,150 | 4r |
| 54,81 | 6 | 54,81 | 3 | 54,90 | 1 | 54,697 | 4 | 54,704 | 3r |
| 50,19 | 6 | 50,20 | 3 | 50,30 | 1+br | 50,079 | 4 | 50,079 | 3r |
| | | | | 2927,9 | 1+br | | | 2927,8 | 1U* |
| | | | | 2816,41 | 20 | | | 2816,33 | 10u |
| | | | | 2669,23 | 1 | | | 2669,159 | 1 |
| 2660,49 | 10R | 2660,50 | 20u | 60,50 | 3 | 2660,393 | 10R | 60,395 | 6Rr |
| 52,56 | 10R | 52,56 | 15u | 52,60 | 2 | 52,484 | 10R | 52,480 | 4Rr |
| | | | | 38,2 | 1+br | | | 38,16 | 0U* |
| | | | | 31,83 | 4+ | | | 31,74 | 5u |
| 2575,49 | 4R | 2575,56 | 5+ | 2575,52 | 1r | 2575,411 | 3R | 2575,449 | 2r |
| 75,20 | 10R | 75,20 | 20u | 75,22 | 3r | 75,113 | 10R | 75,110 | 6Rr |
| 68,08 | 10R | 68,08 | 20u | 68,11 | 3r | 67,997 | 10R | 67,995 | 6Rr |
| | | | | 2475,1 | 1+br | | | 75,01 | 0U |
| | | | | 59,8 | 1+br | | | 59,8 | 0U* |
| | | | | 33,62 | 1 | | | 33,555 | 1 |
| 2426,22 | 4r | | | | | | | | |
| 19,64 | 2r | | | | | | | | |
| 2378,52 | 6R | 2378,53 | 3+ | | | 2378,408 | 3 | 2378,441 | 2r |
| | | | | 2377,49 | 1 | | | | |
| 73,45 | 4R | 73,60 | 1+ | 73,3 | 2+br | 73,360 | 2R | 73,362 | 2R |
| 73,23 | 8R | 73,23 | 5u | | | 73,132 | 8R | 73,132 | 4R |
| 72,21 | 4R | 72,20 | 2+ | 72,11 | 3+ | 72,084 | 3 | 72,045 | 3v |
| | | 70,30 | 1 | 70,30 | 1+ | 70,226 | 1 | 70,226 | 1 |
| | | 69,37 | 1 | 69,36 | 2+ | 69,309 | 2 | 69,304 | 2 |
| | | | | 68,20 | 1+ | 68,116 | 1 | 68,111 | 1 |
| | | | | 67,70 | 1+ | 67,616 | 1 | 67,614 | 1 |
| 67,16 | 10R | 67,13 | 5u | 67,18 | 2+ | 67,064 | 8R | 67,061 | 4R |
| 21,64 | 2 | 21,65 | 1+ | 21,68 | 2+ | 21,567 | 2 | 21,562 | 2 |
| 19,12 | 2 | | | 19,12 | 1+ | | | 19,046 | 2 |
| 17,55 | 2 | | | 17,53 | 1+ | | | 17,476 | 1 |
| 15,05 | 2 | | | 15,05 | 1+ | | | 14,980 | 1u |
| 13,60 | 2 | | | 13,61 | 1+ | | | 13,531 | 1 |
| 12,56 | 2 | | | 12,54 | 1+ | | | 12,466 | 1 |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser u. Runge | | Exner und Haschek | | | | Grünter | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Bogen | | Funke | | Bogen | | Funke | |
| — | | — | | — | | 2269,212 | 2 R | — | |
| 2269,20 | 8 R | 2269,25 | 3 u | 2269,15 | 1 + | 69,093 | 4 R | 2269,091 | 2 R |
| 63,83 | 2 R | — | | — | | 63,731 | 2 | — | |
| 63,52 | 8 R | 63,57 | 3 | 65,50 | 1 + | 63,453 | 4 R | 63,450 | 2 R |
| 58,27 | 2 | | | | | 57,999 | 2 | | |
| 31,27 | 1 r | | | | | — | | | |
| 25,77 | 1 r | | | | | — | | | |
| 10,15 | 4 R | | | | | 10,046 | 2 R | | |
| 04,73 | 4 R | | | | | 04,627 | 2 R | | |
| 2199,71 | 1 R | | | | | 2199,569 | 1 | | |
| 74,13 | 1 R | | | | | 74,028 | 1 R | | |
| 68,87 | 1 R | | | | | 68,805 | 1 R | | |
| 50,69 | 1 R | | | | | 50,59 | 1* | | |
| 45,48 | 1 R | | | | | 45,39 | 1* | | |
| 34,81 | 1 R | | | | | 34,70 | 1* | | |
| 29,52 | 1 R | | | | | 29,44 | 1* | | |
| 23,44 | 1 R | | | | | — | | | |
| 18,58 | 1 R | | | | | — | | | |

## Gesetzmäßigkeiten.

Nach den Untersuchungen von Kirchhoff und Bunsen liefert jedes Element ein ihm eigentümliches unveränderliches Spektrum von Linien. Wo immer in einem Spektrum Linien eines Metalls auftreten, kann man mit absoluter Sicherheit auf das Vorhandensein in der Lichtquelle schließen. Voraussetzung für eine solche Anwendung ist natürlich, daß die den verschiedenen Metallen angehörenden Spektren einmal genau untersucht, die Wellenlängen genau festgelegt sind. In diesem Sinne, der chemischen Spektralanalyse, wurden die ersten spektroskopischen Untersuchungen angestellt. Heute benutzt man die Spektralanalyse meist nur noch, um geringe Spuren der Elemente nachzuweisen, wo die chemische Analyse versagt, oder um Aufschluß über die Elemente der Gestirne zu erlangen, die uns auf anderem Wege nicht zugänglich sind.

Das Gebiet, auf welchem sich heute die Spektroskopie betätigt, ist das Gebiet der Atomtheorie, welche uns Aufschlüsse über das geheimnisvolle Wesen der Atome, ihnen innewohnende Kräfte und ihre Bewegungen geben soll. Da nun das Licht auf Schwingungen beruht, so nahm man an, daß die Linien eines Spektrums die Schwingungen des emittierenden Teilchens, des Molekels, Atoms

oder deren Ladungen, repräsentieren, wie in der Akustik die Töne die Schwingungen des sie erregenden Körpers darstellen. Aus den Dimensionen des Körpers, seiner Masse und den die Schwingungen verursachenden Kräften läßt sich nun in der Akustik der Grundton berechnen. Es gelang fernerhin, in vielen Fällen die Schwingungszahlen des Grundtons und der noch möglichen höheren Töne, der Obertöne, durch eine einzige Formel darzustellen, aus welcher sich die Schwingungszahlen der Obertöne ergeben, wenn man für eine in ihr vorkommende Variable die Reihe der ganzen Zahlen einsetzt. Man gab sich daran, auch für die Spektrallinien eine Gleichung aufzusuchen, aus der man ebenso die einzelnen Linien erhält, wenn man der Reihe nach die ganzen Zahlen für die Variable einsetzt. Die Konstanten der Gleichung werden, wie in der Akustik, von den Dimensionen, Masse und Kräften der Atome abhängig sein. Es läßt sich übersehen, daß man so auf theoretischem Wege Kenntnisse über den Bau der Atome und die ihnen innewohnenden Kräfte gewinnen kann.

Spektra, in denen der gesetzmäßige Bau auf den ersten Blick auffallen mußte, waren die Bandenspektren. Gesetze hierfür sind hauptsächlich von Deslandres aufgestellt worden. Sie lauten:

1. Die Schwingungszahlen der aufeinanderfolgenden Linien einer Bande bilden eine arithmetische Reihe.

2. Von jeder Kante geht nicht eine Linienserie aus, sondern mehrere, die einander gleich sind.

3. Die sämtlichen Kanten eines Bandenspektrums lassen sich in arithmetische Serien auflösen. Die verschiedenen Serien sind nahezu einander gleich.

Bei den Linienspektren hat man anfangs, verleitet durch die akustisch besonders wichtigen Fälle harmonischer Obertöne, auch zunächst nach harmonischen Beziehungen zwischen den Wellenlängen gesucht, aber ohne Erfolg. Diesem Suchen machte Schuster ein Ende, indem er durch Wahrscheinlichkeitsrechnung nachwies, daß harmonische Oberschwingungen nicht vorhanden seien. Gleichzeitig hob er aber hervor, daß doch zweifellos gesetzmäßige Beziehungen zwischen einzelnen Linien vorhanden seien, wie die schon von anderen hervorgehobene Wiederholung gleich gebauter Liniengruppen in zahlreichen Elementen beweise.

Hartley, der statt der Wellenlängen die Schwingungszahlen der einzelnen Linien angibt, findet zwischen diesen konstante Differenzen.

Balmer stellte die erste Gleichung auf, und zwar für Wasserstoff. Sie lautet:

$$\lambda = h \frac{m^2}{m^2 - 4},$$

wo $h$ eine Konstante ist, die er aus vier von Angström gemessenen Linien bestimmte. Die Formel gibt für $m = 3$ bis $m = 31$ die bekannten Wasserstofflinien.

Die Balmersche Formel läßt sich auch schreiben:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{h} \cdot \frac{m^2 - 4}{m^2}$$

$$= A + \frac{B}{m^2}.$$

Da $\frac{1}{\lambda}$ aber proportional der Schwingungszahl $n$ ist, so stellt sich dies als spezieller Fall der allgemeinen Formel dar, die Kayser und Runge aufstellten:

$$n = A + \frac{B}{m^2} + \frac{C}{m^4} + \frac{D}{m^6} + \ldots$$

Gewöhnlich wird diese Reihe nach dem dritten Gliede abgebrochen, da sie sehr schnell konvergiert und lautet allgemein:

$$n = A + \frac{B}{m^2} + \frac{C}{m^4}.$$

Kayser und Runge wiesen nach, daß diese Formel angenähert die Linien vieler Elemente darstellt, wenn man für $m$ die Reihe der ganzen Zahlen einsetzt.

Rydbergs Untersuchungen gründen sich ebenfalls statt auf Wellenlängen auf die Schwingungszahlen, und er nimmt, da es nur auf relative Werte ankommt, für die Schwingungszahlen den Wert $\frac{1}{\lambda}$. Um eine größere Genauigkeit zu erzielen, ist es nötig, die Wellenlängen aufs Vakuum zu reduzieren. Kayser und Runge geben Tabellen an von Zahlen, die man zu den einzelnen Wellenlängen addiert, um die aufs Vakuum reduzierte Wellenlänge zu erhalten. Rydberg kommt zu der Formel:

$$\frac{1}{\lambda} = A + \frac{B}{(m + \mu)^2},$$

wo $m$ die Reihe der ganzen Zahlen bedeutet und $\mu$ eine durch passende Wahl von $m$ zwischen 0 und 1 gelegene Zahl ist.



Die genaueste Serienformel gibt Ritz an:

$$\nu = A - \frac{N}{[m + \alpha + \beta(A - \nu)]^2}.$$

$N$ bedeutet eine allgemein gültige Konstante, $\nu$ die aufs Vakuum reduzierte Schwingungszahl der Linie, $A$ die Schwingungszahl des Endgliedes der ersten Nebenserie, $\alpha$ und $\beta$ sind Konstanten.

Das Spektrum des Aluminiums ist auf seine Gesetzmäßigkeit hin zuerst von Kayser und Runge untersucht worden. Sie fanden zwei Nebenserien. Die zweite Nebenserie besteht aus Paaren von Linien, die eine Schwingungsdifferenz von 112 haben. Die erste Nebenserie besteht, oberflächlich betrachtet, ebenfalls aus Paaren von Linien; bei genauerem Zusehen sieht man jedoch bei jedem Paare neben der Linie mit der größeren Wellenlänge eine schwächere dritte Linie. Die Differenz zwischen der Schwingungszahl dieser dritten Linie und der Schwingungszahl der ersten Linie ist ebenfalls bei allen Paaren konstant und ebenfalls gleich 112. Das Gesetz der konstanten Schwingungsdifferenzen hat sich bei den älteren Messungen immer nur angenähert bestätigt. Es konnte zweifelhaft erscheinen, ob die Abweichungen auf ungenügender Genauigkeit der Messung beruhen oder tatsächlich vorhanden seien. Meine weit genauere Messung gibt die Möglichkeit, dies zu prüfen, und da stellt sich heraus, daß die Konstanz wirklich sehr groß ist, soweit die genauen Messungen reichen. Bei den vier letzten Paaren der ersten Nebenserie, bei welchen die vorgelagerte dritte Linie nicht gemessen werden konnte, weil sie mit der zweiten zusammenfließt, ist natürlich Genauigkeit nicht zu erwarten, namentlich, wenn die Linien nur anpunktiert zu messen waren, wie bei den letzten beiden Paaren.

In folgender Tabelle habe ich in der ersten Kolonne die gemessenen Wellenlängen angegeben; in der zweiten die Korrektur, die ich zu den Wellenlängen addieren muß, um die aufs Vakuum reduzierten Wellenlängen zu erhalten, die sich in Kolonne 3 befinden. In Kolonne 4 sind die Schwingungszahlen $\frac{1}{\lambda'}$ angegeben, und in der fünften die Schwingungsdifferenzen. In Klammern sind darunter die Differenzen angegeben, die Kayser und Runge gefunden haben; man sieht, wie viel genauer die Übereinstimmung bei mir geworden ist, und man kann darin auch ein Kriterium für die Genauigkeit meiner Messungen sehen.



Tabelle 2.

| λ | Korrektur | λ' | $\frac{1}{\lambda'}$ | Differenz | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | I Nebenserie | II. Nebenserie |
| 3961,540 | 1,101 | 3962,641 | 25235,695 | | 112,038 |
| 3944,032 | 1,094 | 3945,126 | 25347,733 | | (112,1) |
| 3092,843 | 0,880 | 3093,723 | 32323,514 | 112,036 | |
| 3092,716 | 0,880 | 3093,596 | 32324,841 | (112,0) | |
| 3082,159 | 0,878 | 3083,037 | 32435,550 | | |
| 2660,393 | 0,776 | 2661,169 | 37577,471 | | 112,041 |
| 2652,484 | 0,774 | 2653,258 | 37689,512 | | (112,3) |
| 2575,411 | 0,756 | 2576,167 | 38817,359 | 112,081 | |
| 2575,108 | 0,756 | 2575,864 | 38821,925 | (112,0) | |
| 2567,996 | 0,754 | 2567,750 | 38929,440 | | |
| 2378,408 | 0,712 | 2379,120 | 42032,348 | | 112,043 |
| 2372,084 | 0,711 | 2372,895 | 42144,391 | | (111,8) |
| 2373,360 | 0,711 | 2374,071 | 42121,739 | 112,021 | |
| 2373,132 | 0,711 | 2373,843 | 42125,785 | (111,9) | |
| 2367,064 | 0,710 | 2367,774 | 42233,760 | | |
| 2269,212 | 0,710 | 2269,922 | 44054,377 | 112,074 | |
| 2269,093 | 0,710 | 2269,803 | 44056,687 | (110,5) | |
| 2263,453 | 0,709 | 2264,162 | 44166,451 | | |
| 2263,731 | 0,709 | 2264,440 | 44161,029 | 112,088 | |
| 2257,999 | 0,708 | 2258,707 | 44273,117 | (108,8) | |
| 2210,046 | 0,697 | 2210,743 | 45233,661 | 111,170 | |
| 2204,627 | 0,696 | 2205,323 | 45344,831 | (111,2) | |
| 2174,028 | 0,690 | 2174,718 | 45982,053 | 111,666 | |
| 2168,805 | 0,689 | 2169,493 | 46093,719 | (111,6) | |
| 2150,59+ | 0,683 | 2151,273 | 46484,104 | 112,655 | |
| 2145,39+ | 0,682 | 2146,072 | 46596,759 | (112,7) | |
| 2134,70+ | 0,680 | 2135,380 | 46830,072 | 115,662 | |
| 2129,44+ | 0,679 | 2130,119 | 46945,734 | (116,3) | |

**Banden.**

In dem Spektrum des Aluminiums treten eine Anzahl charakteristischer Banden auf. Da es vor allem von Wichtigkeit ist, die Stelle der Bande genau festzulegen, so habe ich die Kanten, von denen die Banden ausgehen, genau gemessen und in folgender Tabelle zusammengestellt. Bei einigen Banden befanden sich zwei gleich starke Kanten, welche ich in der Tabelle angegeben habe. Sämtliche Banden verlaufen nach längeren Wellenlängen. Neben

meinen Werten habe ich zum Vergleich auch diejenigen von Hasselberg und Exner u. Haschek angeführt. Mit beiden habe ich nach Anwendung der Korrektur, der nach Rowlandschen Normalen gemessenen Linien auf die nach internationalen Normalen gemessenen, zum größten Teile gute Übereinstimmungen. Hinsichtlich der Intensitätsangaben habe ich mich an die Werte von Hasselberg gehalten. Die einzelnen Banden sind in der Tabelle 3 nach zusammengehörigen Gruppen geordnet.

Tabelle 3.

| Hasselberg | | Exner u. Haschek | Grünter |
|---|---|---|---|
| | | 5357,9 | 5357,719 |
| | | 77,6 | 76,832 |
| | | 94,6 | 94, {138 / 415} |
| | | 5410,0 | 09, {543 / 917} |
| | | | |
| 5079,52 | 8 | 5079,53 | 5079,356 |
| 5102,32 | 12 | 5102,37 | 5102,126 |
| 5123,47 | 9 | 5123,60 | 5123,328 |
| 5143,08 | 6 | 5143,15 | 5142,893 |
| 5161,00 | 8 | | |
| 5177,23 | 5 | | |
| 5192,40 | 5 | | |
| | | | |
| 4842,44 | 12 | 4842,40 | 4842,268 |
| 4866,54 | 8 | 4866,55 | 4866,366 |
| 4888,41 | 6 | | |
| | | | |
| 4648,14 | 12 | 4648,42 | 4648,226 |
| 4672,15 | 12 | 4672,21 | 4672,016 |
| 4694,78 | 12 | 4694,80 | 4694,618 |
| 4715,45 | 6 | 4715,70 | 4715,535 |
| 4735,94 | 7 | 4736,10 | 4735,819 |
| | | | |
| 4470,63 | 8 | 4470,73 | 4470,537 |
| 4494,22 | 9 | 4494,26 | 4494,035 |
| 4516,54 | 10 | 4516,60 | 4516,402 |
| 4537,69 | 10 | 4537,80 | 4537,584 |
| 4557,84 | 8 | 4557,80 | 4557,610 |
| 4576,47 | 6 | 4576,60 | 4576,315 |
| 4593,97 | | | 4593,836 |

## Verunreinigungen.

An Verunreinigungen fand ich:

Ca, Cu, Fe, Mg, Si, Sn, Ti.

Genau gemessene Linien der Verunreinigungen geben folgende Tabellen.

Tabelle 4.

Bogen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2332,800 | Fe | 3933,672 | Ca |
| 2364,834 | Fe | 3968,470 | Ca |
| 2421,705 | Sn | 4289,362 | Ca |
| 2429,505 | Sn | 4305,914 | Ti |
| 2839,981 | Sn | 4434,965 | Ca |
| 2852,127 | Mg | 4454,782 | Ca |
| 2881,584 | Si | | |

Funken.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3349,039 | Ti | 3361,219 | Ti |
| 3349,409 | Ti | 3372,803 | Ti |

Luftlinien.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5679,49 | N | 4319,68 | O |
| 5666,59 | N | 4317,14 | O |
| 4630,55 | N | 4075,94 | O |
| 4607,21 | N | 4072,30 | O |
| 4601,56 | N | 4069,89 | O |
| 4447,07 | O | 3995,10 | N |
| 4417,01 | O | 3973,26 | O |
| 4349,42 | O | 3919,08 | N |
| 4345,58 | O | 3846,44 | N |

Zum Schlusse bleibt mir die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Regierungsrat Prof. Dr. H. Kayser für die gütige Anregung zu dieser Arbeit, sowie für das freundliche Entgegenkommen bei ihrer Anfertigung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

## Literatur.

H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. Bde. I, II, V, VI.
G. Kirchhoff, Abhandl. d. Berl. Akad. 1861, S. 63—95; 1863, S. 227—240.
R. Thalén, Nova acta reg. soc. sc. Upsal. (3) **6.** 1868.
H. Kayser u. C. Runge, Abhandl. Berl. Akad. 1891.
H. A. Rowland, Astron. and Astrophys. **12.** 321—347. 1893.
F. Exner u. E. Haschek, Wellenlängentabellen — 1904.
F. Exner u. E. Haschek, Wellenlängentabellen der Spektren der Elemente bei normalem Druck. Bd. II. Leipzig u. Wien 1911. Bd. III, 1913.
F. Paschen, Annalen d. Physik 1909.
L. Janicki, Annalen d. Physik (4) **29.** 833—868. 1909.
J. M. Eder u. E. Valenta, Wien. Ber. **118.** IIa. 1077. 1909.
F. Paschen, Annalen d. Physik (4) **33.** 717—718. 1910.
F. L. Wagner, Zeitschr. f. wiss. Phot. 1911 u. 1912.
J. M. Eder u. E. Valenta, Wien. Ber. **119.** IIa. 520. 1910.
J. Barnes, Astrophys. Journ. **34.** 159—163. 1911.
J. H. Pollock, Proc. of the Royal Soc. Dublin (2) **13.** 201—218. 1912.
H. Oellers, Zeitschr. f. wiss. Phot. **10.** 374, 393. 1912.
Wali-Mohammed, Annalen d. Physik (4) **39.** 225. 1912.
Th. Lyman, Astrophys. Journ. **35.** 341—353. 1912.
H. Lehmann, Annalen d. Physik (4) **39.** 53—79. 1912.

# Messungen im ultravioletten Funkenspektrum von Metallen nach dem internationalen System (Ag, Al, As, Au, Ba, Bi, C, Ca, Cd, Cu, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl, Zn).[1]

Von

Josef Maria Eder,
k. M. K. Akad.

Aus dem Photochemischen Laboratorium der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt.

[Vorgelegt in der Sitzung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien am 24. April 1913.*)]

Die bisher vorliegenden älteren Messungen an den Spektren der Elemente wurden bis zum Jahre 1910 auf die Rowlandschen Normalen des Eisenspektrums bezogen.

Die neueren absoluten Wellenlängenmessungen von Michelson, Fabry, Buisson, Kayser, Eversheim u. a. ergaben, daß bei Rowlands Messungen ein periodischer Fehler unterlaufen war, und der Kongreß der „International Union for Cooperation in Solar research" (1910) beschloß, neue, endgültige Normalen für Spektralmessungen aufzustellen, welche als Ångströmsche Einheiten nach dem „internationalen System" (J. A.) bei den Linienmessungen im Spektrum nunmehr Eingang fanden und in der Tat höhere Genauigkeit besitzen.[2]

Die Umrechnung der Werte des internationalen Systems auf die Wellenlängenzahlen des Rowlandschen Systems erhält man nach Hartmann[3]) durch Multiplikation mit dem Faktor 1,0000373. Exner und Haschek, welche ihre Wellenlängenmessungen auf Rowlands Normalen bezogen, geben zur Umrechnung ihrer Zahlen auf das internationale System im Ultraviolett folgende Tabelle:[4]

*) Sitzungsberichte d. Kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturwissensch. Klasse. Bd. 122. Abt. IIa. März 1913.

| Wellenlänge | Differenz: Rowland—internationales System. |
|---|---|
| 4100—3200 | 0,142 |
| 3200—3000 | 0,121 |
| 3000—2600 | 0,108 |
| 2600—2400 | 0,083 |

Es wären also in Exners Tabellen ebenso wie bei dem von Eder und Valenta herausgegebenen „Atlas typischer Spektren", Wien 1911 (bei Alfred Hölder) im Spektralbezirke bei $\lambda$ 2400 die Rowlandschen Wellenlängen um 0,083 A.-E. zu hoch gegenüber dem internationalen System.

H. Kaysers Korrektionstabelle erstreckt sich bis $\lambda$ 1950 (a. a. O., p. 891), und zwar verkleinert er die Rowlandschen Zahlen zwecks Reduktion auf das internationale System für den Bezirk $\lambda$ 2475—2300 um 0,08, für $\lambda$ 2300—2150 um 0,07 und für $\lambda$ 2150 bis 1950 um 0,06 A.-E.

Bei Linien von kürzeren Wellenlängen ($\lambda$ 2400—1900) werden alle diese Umrechnungsmethoden sehr unzuverlässig, wovon ich mich durch einige Probemessungen am Funkenspektrum des Kupfers überzeugte. Um Spektralbeobachtungen und Messungen in diesem kurzwelligen Spektralbezirk mit größerer Genauigkeit vornehmen zu können, erscheint ein direkter Anschluß an die Normalen des „internationalen Systems" notwendig, und zwar unter Benutzung großer Konkavgitter.

Man kann mit lichtstarken Quarzprismenspektrographen allerdings weiter ins Ultraviolett vordringen als mit Gitterspektrographen, wie Eder und Valenta in ihrem „Atlas typischer Spektren" (1911) an zahlreichen Beispielen demonstriert haben;[6]) jedoch können exakte Wellenlängenmessungen im prismatischen Spektrum nur unter Zugrundelegung von wenigstens einigen im Gitterspektrum genau fixierten Standards mittels geeigneter Dispersionsformeln vorgenommen werden.

Die Eisenstandards nach dem internationalen System reichen mit großer Genauigkeit bis $\lambda$ 2373 und der Anschluß von Wellenlängenmessungen an das internationale System macht bis dorthin keine Schwierigkeiten. In den Bezirken kürzerer Wellenlängen liegen aber nur wenige genaue Messungen vor; speziell die wegen ihrer großen Helligkeit im Ultraviolett für die Eichung der Quarzprismenspektrographen so wichtigen Funkenspektren des Kupfers,

Silbers, Goldes, Aluminiums usw. sind noch nicht an das internationale System angeschlossen worden.

Meine Untersuchungen dieser Metallspektren erstreckten sich hauptsächlich auf den Bezirk von λ 2400 A.-E. bis unter 1900. Zunächst wurden die Wellenlängenmessungen einiger deutlicher Linien des Kupfers nach der Koinzidenzmethode, d. i. durch Ineinanderphotographieren des Spektrums der ersten und zweiten Ordnung mittels eines großen Rowlandschen Konkavgitters von 4,59 m Krümmungsradius, vorgenommen und das Netz des Standards durch Interpolieren, beziehungsweise Extrapolieren enger geschlossen. Das verwendete Konkavgitter war sehr ähnlich dem von Exner und Haschek verwendeten Gitter, jedoch benutzte ich zur Ausmessung eine Teilmaschine mit Ablesemikroskop und Fadenkreuz und nahm die Messung aller Linien auf Grund von mindestens sechs Ablesungen vor. Die Genauigkeit der Messungen ist ungefähr 0,01 A.-E., bei schwächeren Linien 0,02 A.-E. Die mäßige Schärfe der Kupfer-, Silber- und Goldlinien sowie das Extrapolieren ermöglichten keine genaueren Messungsergebnisse.

Jedenfalls ist die Genauigkeit der nachstehenden Messungen eine beträchtlich größere als bei den älteren, auf Rowlands Normalen bezogenen Messungen von Kayser, Exner und Haschek und von mir selbst, da der berechnete Korrektionsfaktor der Zahlenwerte bei Wellenlängen, die kleiner als 2400 A.-E. sind, mit der direkten Messung schlecht übereinstimmt und deshalb die durch Umrechnung älterer Messungen gewonnenen internationalen Wellenlängenwerte wenigstens in diesem Spektralbezirke sehr unzuverlässig gegenüber jenen sind, die im direkten Anschluß gemessen wurden.

Die Funkenspektren wurden bei Wechselstrom mit einem Woodschen Transformer[6]) und Einschaltung von sechs großen Leydener Flaschen unter Verwendung 5—6 mm dicken Elektroden erzeugt. Das emittierte Licht wurde mit gekreuzten zylindrischen Bergkristallinsen als Lichtlinie am Spalt des Spektrographen kondensiert. Bei Benutzung von Schleußnerschen Trockenplatten, welche in der Brennfläche gebogen waren, dauert die Belichtung in der Zone von λ 2400 bis λ 2000 etwa 3—10 Minuten, für das äußerste Ultraviolett bis λ 1853 ungefähr 1—2 Stunden.

Das Netz meiner Kupfernormalen verglich ich mit den Eisennormalen des internationalen Systems nach Kaysers Handbuch (Bd. VI, S. 893), und zwar zog ich die Linien Fe 2413,31, 2388,63,

2373,73 hierzu heran. In guter Übereinstimmung hiermit und mit meinem gesamten Netz der Kupferstandards stehen die Messungen Dheins[7]) im Palladiumspektrum, wie ich mich durch zahlreiche Proben (z. B. mit den Pd-Linien 2551,72, 2534,60, 2418,73, 2388,35, 2331,41, 2302,03, 2296,50, 2212,10, 2207,44, 2162,19 u. a.) überzeugte. Auch die von Kayser (Handbuch, Bd. VI, S. 1031) angegebene Wellenlänge Cu = 2369,88 (internationales System) stimmt vollkommen mit meinen Messungen überein.

Dagegen sind die auf das internationale System bezogenen Messungen der Silberlinien von Kasper[8]) sehr unzuverlässig und wenigstens in dem von mir gemessenen kurzwelligen Bezirke von $\lambda$ 2400 abwärts als schlecht zu bezeichnen, weil sie um ungefähr 0,10 A.-E. zu niedrig sind, was wohl nur zum Teil mit der starken Verbreiterung der Silberlinien bei stärkerer Belichtung zusammenhängen mag, der Hauptsache nach aber auf eine Verschiebung der photographischen Aufnahme der Eisennormale gegen die Silberspektren zurückzuführen sein dürfte, da Kasper alle Linien zu niedrig gemessen hat.

Meine Wellenlängenmessungen sind auf die in nachstehender Tabelle angegebenen Kupferstandards (internationales System) bezogen und deshalb unter sich streng vergleichbar. Meistens wurden Legierungen der zu untersuchenden Metalle mit Kupfer verwendet, um ganz sichere Standards (*) zu gewinnen. Mitunter wurde auch einer Kupferelektrode eine Elektrode des anderen Metalles gegenübergestellt und auf diese Weise das zu untersuchende Metallspektrum mit den Kupferstandards durchzogen. Die anderen Linien wurden hiermit an den Spektren chemisch reiner Metalle interpoliert und ganz schwache undeutliche Linien nicht registriert, weshalb diese Tabellen durchschnittlich weniger Linien enthalten als die von Eder und Valenta vor mehreren Jahren publizierten Wellenlängentabellen[9]) im ultravioletten Spektrum; dagegen weisen die neuerdings gemessenen Linien vorliegender Abhandlung größere Genauigkeit und direkten Anschluß an das internationale System auf.

## Kupfer.

In nachstehender Tabelle sind die Resultate meiner Messungen des Funkenspektrums des Kupfers, bezogen auf das internationale System, enthalten und die letzten Messungen im selben Spektrum nach Rowlands System, welche von Exner und Haschek

stammen, zum Vergleiche herangezogen, und zwar lediglich jene Kupferlinien, welche Exner und Haschek in ihre Tabelle der ultravioletten Standardlinien aufnahmen.[10]) Die heliographische Abbildung des Kupferspektrums und der anderen Metalle samt genauen Messungen nach Rowlands System haben Eder und Valenta in ihrem „Atlas typischer Spektren“ (Wien 1911) gebracht, welches Werk eine sichere Orientierung des Aussehens und der Verteilung der Spektrallinien leicht ermöglicht.

## Funkenspektrum des Kupfers.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System | Differenz: Rowland — internationales System |
|---|---|---|---|---|
| *2544,93 | $i = 10$ | Hauptlinie | | |
| 2538,69 | 1 | | | |
| 2535,34 | 1 | | | |
| *2529,42 | 7 | | | |
| 2526,72 | 4 | | | |
| 2523,14 | 1 | | | |
| 2522,32 | 1 | | | |
| 2518,84 | 1 | verbreitert | | |
| 2516,32 | 1 | „ | | |
| 2511,37 | 1 | | | |
| 2508,57 | 1 | einseitig verbreitert | | |
| *2506,42 | 9 | Hauptlinie | | |
| 2498,79 | 1 | | | |
| 2497,61 | 1 | | | |
| 2496,18 | 1 | verbreitert | | |
| 2492,11 | 2 | | | |
| *2489,62 | 7 | | | |
| 2486,54 | 1 | verbreitert | | |
| 2485,91 | 4 | „ | | |
| 2482,29 | 3 | ziemlich scharf | | |
| 2478,43 | 1 | verbreitert | | |
| *2473,45 | 5 | | | |
| 2468,61 | 5 | | | |
| 2465,99 | 1 | verbreitert | | |
| 2462,07 | 1 | „ | | |
| 2459,34 | 1 | „ | | |
| 2458,79 | 1 | „ | | |
| 2453,04 | 1 | „ | | |
| 2447,63 | 1 | „ | | |
| 2446,80 | 1 | „ | | |
| *2444,43 | 3 | scharf | | |
| 2441,63 | 1 | | | |
| 2440,16 | 1 | verbreitert | | |
| 2435,94 | 1 | | | |
| 2433,57 | 1 | | | |
| 2430,52 | 1 | verbreitert | | |
| 2424,59 | 3 | | | |

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (*i*) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System | Differenz: Rowland — internationales System |
|---|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek | |
| 2412,35 | *i* = 1 | | | |
| 2405,51 | 1 | | | |
| *2403,50 | 4 | verbreitert | | |
| *2400,13 | 6 | scharf | | |
| 2392,67 | 4 | " | | |
| 2391,75 | 3 | " | | |
| 2385,09 | 2 | verbreitert | | |
| *2376,43 | 5 | ziemlich scharf | | |
| *2369,88 | 10 | Hauptlinie | 2369,94 | 0,06 |
| *2356,64 | 5 | scharf | | |
| 2355,15 | 4 | verschwommen | | |
| 2348,84 | 3 | " | | |
| 2346,16 | 2 | ziemlich scharf | | |
| *2336,28 | 4 | scharf | | |
| 2309,63 | 2 | ziemlich scharf | | |
| 2303,13 | 4 | scharf | | |
| 2299,56 | 2 | unscharf | | |
| *2294,35 | 6 | scharf | 2294,45 | 0,10 |
| 2293,87 | 3 | ziemlich scharf | | |
| 2292,69 | 1 | " | | |
| 2291,12 | 4 | " | 2291,21 | 0,09 |
| *2286,73 | 4 | " | | |
| 2278,42 | 2 | " | | |
| *2276,24 | 6 | scharf | 2276,35 | 0,11 |
| 2265,44 | 2 | " | | |
| 2263,87 | 3 | verbreitert | | |
| 2263,18 | 2 | " | | |
| 2255,06 | 2 | " | | |
| 2249,06 | 3 | " | | |
| *2246,97 | 8 | ziemlich scharf | 2247,06 | 0,09 |
| 2244,22 | 1 | unscharf | | |
| *2242,59 | 7 | scharf | 2242,69 | 0,10 |
| 2231,64 | 1 | " | | |
| 2231,00 | 2 | " | | |
| 2230,05 | 2 | verbreitert | | |
| *2228,84 | 5 | scharf | 2228,95 | 0,11 |
| 2227,77 | 2 | unscharf | | |
| 2226,86 | 3 | " | | |
| 2225,68 | 2 | ziemlich scharf | | |
| 2224,78 | 2 | " | | |
| 2218,07 | 5 | " | 2218,19 | 0,12 |
| 2215,20 | 3 | " | | |
| 2214,58 | 3 | " | | |
| 2212,83 | 1 | " | | |
| *2210,24 | 5 | " | 2210,35 | 0,11 |
| 2199,58 | 1 | " | | |
| *2195,76 | 3 | " | | |
| 2192,23 | 5 | " | 2192,35 | 0,12 |
| 2189,58 | 5 | " | 2189,69 | 0,11 |
| 2181,70 | 1 | " | | |
| *2179,36 | 5 | scharf | 2179,48 | 0,12 |

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (*i*) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System | Differenz: Rowland — internationales System |
|---|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek | |
| 2175,03 | *i* = 2 | scharf | | |
| 2165,06 | 1 | „ | | |
| 2161,36 | 1 | unscharf | | |
| 2151,82 | 2 | scharf | | |
| *2148,91 | 4 | „ | 2149,08 | 0,17 |
| *2135,92 | 3 | „ | 2136,08 | 0,16 |
| 2134,36 | 2 | „ | | |
| 2125,97 | 3 | „ | 2126,12 | 0,15 |
| *2122,91 | 3 | „ | 2123,08 | 0,17 |
| 2117,33 | 2 | „ | | |
| 2112,02 | 2 | „ | 2112,19 | 0,17 |
| *2104,73 | 2 | „ | 2104,89 | 0,16 |
| 2098,43 | 2 | verbreitert | | |
| 2087,96 | 2 | scharf | | |
| *2085,27 | 3 | „ | | |
| 2078,69 | 2 | „ | | |
| 2054,92 | 2 | „ | | |
| *2043,74 | 2 | „ | | |
| *2037,06 | 2 | „ | | |
| *2035,82 | 2 | „ | | |
| 2030,98 | 1 | unscharf | | |
| *2025,44 | 2 | scharf | | |
| *1999,64 | 2 | „ | | |
| *1989,13 | 1 | „ | | |
| *1979,24 | 1 | „ | | |

## Aluminium.

Das Funkenspektrum des Aluminiums ist nahezu unentbehrlich für die Orientierung im brechbarsten Ultraviolett von $\lambda$ 1989—1853. Die älteren Messungen Runges[11]) sowie die von Eder und Valenta[12]) sind auf Rowlands System bezogen; nach meinen neuen Messungen sind diese Wellenlängen um 0,11 A.-E. zu hoch gegenüber dem internationalen System. Die von Rowland[13]) selbst im Jahre 1893 ermittelten Werte der Wellenlängen der gut charakterisierten Aluminiumlinien 2373, 2367 und 2269 weichen von meinen auf das internationale System bezogenen Befunden aber nur um 0,07—0,08 ab und nähern sich somit sehr den Anforderungen der Hartmannschen Reduktionstabelle, welche mit Berücksichtigung der gesamten periodischen Fehler des Rowlandschen Systems berechnet wurde. Auch die Messungen Exner und Haschecks sowie Kaysers wurden in untenstehender Tabelle zum Vergleiche herangezogen.

### Funkenspektrum des Aluminiums.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek | Rowland |
| *2373.14 | $i = 4$ | einseitig nach Rot verbreitert | 2373.3 | 2373,213 |
| *2372,03 | 5 | ziemlich scharf | 2373,11 | |
| 2370,13 | 1 | | 2370,30 | |
| *2369,09 | 4 | einseitig nach Rot verbreitert gegen $\lambda$ 2369,20 | 2369,36 | |
| 2368,01 | 2 | | 2368,20 | |
| *2367,54 | 2 | | 2367,70 | |
| *2367,07 | 4 | | 2367,18 | 2367,145 |
| 2321,53 | 4 | | 2321,68 | |
| 2318,96 | 2 | | 2319,12 | |
| 2317,41 | 2 | | 2317.53 | |
| 2314,96 | 2 | | 2315,05 | |
| 2313.46 | 2 | | 2313,61 | |
| 2312,46 | 2 | | 2312,54 | |
| *2269,09 | 4 | | 2269,15 | 2269,161 |
| 2263,34 | 4 | | 2263,30 | 2263,505 |
| | | | Kayser und Runge | |
| 2210,03 | 4 | | 2210,15 | |
| 2204,69 | 2 | | 2204,73 | |
| 2174,02 | 2 | | | |
| | | | Runge | |
| *1989,79 | 8 | Hauptlinie | 1989 90 | |
| *1935.18 | 7 | „ | 1935.29 | |
| 1930,30 | 2 | | 1930,4 | |
| *1862,09 | 4 | „ | 1862,20 | |
| 1857.35 | 1 | | | |
| *1853,98 | 3 | „ | 1854,09 | |

### Antimon.

Das Funkenspektrum des Antimons reicht weit ins Ultraviolett, aber seine Linien sind mehr oder weniger unscharf. Dies mag wohl die hauptsächliche Ursache sein, daß die vorliegenden Wellenlängenmessungen dieses Elementes recht schlecht übereinstimmen. Auch die neuen Messungen nach dem internationalen System von H. Schippers[14]) weichen sehr stark von meinem Befunde ab; trotzdem ich mehrfache Messungen an verschiedenen Platten und bei Verwendung von Legierungen oder Gegenüberstellung von Antimon-Kupferelektroden sorgfältig vornahm, fand ich keine bessere Übereinstimmung. Jedenfalls ist die Verwendung der Schipperschen

Antimonmessungen als Standards nach dem internationalen System, deren Resultate auch in Kaysers Tabelle (Handbuch der Spektroskopie, 1912, Bd. 6, S. 103) Aufnahme fanden, nicht zu empfehlen, da sie mit unregelmäßigen Fehlern behaftet sind.

Funkenspektrum des Antimons.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (i) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach dem internationalen System | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|---|
| | | | Schippers | Exner und Haschek |
| 2383,71 | i = 4 | | 2383,62 | 2383,81 |
| 2373,75 | 3 | | 2373,62 | 2373,85 |
| 2361,01 | 1 | | | 2361,1 |
| 2360,55 | 1 | | 2360,49 | 2360,55 |
| 2329,15 | 1 | | 2329,10 | 2329,28 |
| 2315,96 | 2 | | 2315,91 | 2316,05 |
| 2311,61 | 8 | | 2311,48 | 2311,56 |
| 2306,53 | 3 | | 2306,47 | 2306,60 |
| 2295,91 | 1 | sehr verbreitert | 2296,04 | 2296,1 |
| 2293,45 | 2 | | 2293,47 | 2293,48 |
| 2288,99 | 2 | | 2289,01 | 2289,09 |
| • 2269,96 | 1 | | 2270,13 | 2270,2 |
| 2262,57 | 2 | verbreitert | 2262,66 | 2262,77 |
| 2246,94 | 1 | | 2246,99 | |
| 2224,91 | 2 | | 2224,98 | 2225,00 |
| 2222,01 | 1 | | 2222,08 | 2222,2 |
| 2220,71 | 2 | | 2220,80 | 2220,82 |
| 2208,54 | 3 | | 2208,53 | 2208,55 |
| 2203,63 | 2 | | 2203,65 | 2203,09 |
| 2201,39 | 1 | | 2201,44 | 2201,40 |
| 2179,30 | 3 | | 2179,24 | 2179,31 |
| 2175,96 | 3 | verbreitert | 2175,87 | 2175,95 |
| 2170,13 | 2 | | 2170,23 | 2170,26 |
| 2144,98 | 2 | | 2145,04 | 2145,22 |
| 2141,79 | 1 | | 2141,8 | 2141,86 |
| 2139,71 | 2 | | 2139,76 | 2139,76 |
| 2127,44 | 1 | | | |
| 2118,50 | 1 | | 2118,52 | |
| 2098,40 | 1 | | 2098,45 | |
| 2068,49 | 1 | | 2068,37 | |

**Arsen.**

Das Arsenfunkenspektrum stellte ich mit Elektroden einer Kupfer-Arsen-Legierung her und verglich es mit dem reinen Arsenspektrum. Die Arsenlinien der Legierung zeigten ziemlich große Schärfe und waren gut meßbar.

Funkenspektrum des Arsens.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (*i*) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| *2381,21 | *i* = 3 | | 2381,32 |
| 2370,75 | 2 | | 2370,87 |
| 2369,64 | 2 | | 2369,75 |
| *2349,87 | 10 | Hauptlinie | 2350,02 |
| 2344,03 | 2 | | |
| *2288,15 | 2 | | 2288,28 |

**Barium.**

Das Funkenspektrum des Bariums (Bariumnitrat auf Kohle) zeigt im Bezirke λ 2335 drei sehr charakteristische Linien von besonderer Helligkeit, welche viel stärker hervortreten als die Calcium- oder Strontiumlinien dieses Bezirkes, jedoch finden sich bis λ 1900 dann nur mehr wenige Linien (Unterschied vom Calcium). Das Bariumspektrum ist von Schmitz[15]) nach dem internationalen System gut gemessen; ich begnügte mich daher nur mit den wichtigsten Hauptlinien des Bariums und konstatierte gute Übereinstimmung dieser Messungen mit meinen. Exner und Haschek haben, auch wenn man auf Rowlands System bezieht, etwas zu hoch gemessen. Jedenfalls geben die Bariumlinien, die nunmehr nach dem internationalen System sichergestellt sind, sehr gute Standards ab.

Funkenspektrum des Bariums.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (*i*) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach dem internationalen System | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|---|
| | | | Schmitz | Exner und Haschek |
| 2347,57 | *i* = 6 | } wichtige Hauptlinien | 2347,57 | 2347,70 |
| 2335,25 | 10 | | 2335,25 | 2335,39 |
| 2304,21 | 8 | | 2304,21 | 2304,33 |
| 2254,72 | 3 | | 2254,73 | 2254,89 |
| 2245,61 | 2 | | 2245,61 | 2245,76 |

### Blei.

Gute Messungen über das Funkenspektrum des Bleies nach dem internationalen System liegen von Fr. Klein[16]) vor; sie stimmen nach meinen Messungen überein, insoweit dies die geringe Schärfe der meisten Bleilinien ermöglicht.

Funkenspektrum des Bleies.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach dem internationalen System | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|---|
| | | | Klein | Exner und Haschek |
| 2401,95 | $i = 3$ | | 2401,94 | 2402,18 |
| 2399,60 | 1 | | 2399,60 | 2399,70 |
| 2393,81 | 6 | | 2393,81 | 2393,90 |
| 2388,83 | 1 | | 2388,81 | 2389,00 |
| 2332,46 | 2 | | 2332,45 | 2332,63 |
| 2246,94 | 2 | unscharf | 2246,90 | 2247,00 |
| 2237,46 | 2 | „ | 2237,44 | 2237,70 |
| 2203,56 | 4 | umgekehrt, verbreitert | 2203,53 | 2203,68 |
| 2169,97 | 2 | umgekehrt, unscharf | 2170,00 | 2170,11 |

### Cadmium.

Die Cadmiumfunkenlinien sind sehr hell, aber zumeist stark verbreitert. Um die Hauptlinie gut messen zu können, benutzte ich ein mit Cadmium und Kupfer verunreinigtes Bleimetall (*). Die anderen Linien maß ich an reinem metallischen Cadmium.

Funkenspektrum des Cadmiums.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| 2329,24 | $i = 5$ | | 2329,36 |
| 2321,13 | 8 | verbreitert | 2321,25 |
| 2312,87 | 10 | | 2312,90 |
| 2306,63 | 2 | | 2306,72 |
| 2288,02 | 10 | umgekehrt | 2288,09 |
| 2267,39 | 2 | | 2267,51 |
| 2264,98 | 10 | „ | 2265,11 |
| 2248,95 | 1 | unscharf | 2248,93 |
| 2239,85 | 2 | | 2239,91 |
| 2224,41 | 1 | | 2224,51 |
| 2203,57 | 1 | | 2204,4 |
| 2194,60 | 4 | | 2194,70 |
| 2187,78 | 1 | | 2187,89 |
| 2168,77 | 1 | | 2168,6 |
| 2144,35 | 3 | | 2144,50 |
| 2111,54 | 2 | | 2111,69 |

## Calcium.

Das Funkenspektrum des Calciums erhält man in seiner vollen Ausbildung im äußeren Ultraviolett nur bei Anwendung von dicken Metallelektroden. In diesem Falle gelingt es, mit dem großen Gitterspektrographen den Verlauf des Calciumspektrums bis $\lambda$ 1951 nachzuweisen; allerdings sind die Calciumlinien dieses Bezirkes zumeist sehr unscharf, verbreitert und verschwommen, was die Genauigkeit der Messung sehr beeinträchtigt. Immerhin übertreffen nachfolgende Messungen die bisher publizierten an Genauigkeit.

Funkenspektrum des Calciums.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| 2398,61 | $i = 2$ | | 2398,66 |
| 2373,18 | 1 | | 2373,27 |
| 2343,52 | 1 | | |
| 2316,99 | 1 | sehr undeutlich | |
| | | | Eder und Valenta |
| 2312,05 | 1 | verbreitert | 2313,02 |
| 2309,65 | 1 | „ | 2309,20 |
| 2275,56 | 2 | | 2275,44 |
| 2208,83 | 2 | „ | 2208,95 |
| 2197,94 | 2 | | 2198,03 |
| 2113,28 | 1 | „ | 2113,01 |
| 2103,47 | 1 | unscharf | 2103,47 |
| 1964,35 | 1 | | |
| 1951,87 | 1 | | |

## Gold.

Das Funkenspektrum des Goldes, welches von Eder und Valenta wiederholt unter Berücksichtigung des Rowlandschen Systems gemessen worden war, ist sehr wichtig zur Orientierung im äußeren Ultraviolett, weil es ähnlich wie Kupfer mit guter Helligkeit weit in den kurzwelligen Spektralbezirk reicht. Die heliographische Abbildung samt Hinweis auf die ältere Literatur ist in unserem „Atlas typischer Spektren" enthalten.

Hier folgen meine neueren Messungen der Goldlinien, bezogen auf das internationale System, soweit ich sie mit dem großen Gitterspektrographen erhalten konnte. Die mit * bezeichneten Linien sind mittels einer Kupfer-Gold-Legierung, die übrigen mit reinem Gold erhalten.

## Funkenspektrum des Goldes.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (*i*) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| 2388,24 | *i* = 1 | sehr verbreitert | 2388,47 |
| *2387,77 | 3 | | 2387,86 |
| 2384,21 | 1 | | 2384,26 |
| *2382,44 | 1 | | 2382,50 |
| 2379,17 | 1 | | |
| 2377,15 | 1 | | |
| 2376,27 | 2 | | 2376,32 |
| 2373,17 | 1 | verbreitert | 2373,26 |
| 2371,64 | 2 | „ | 2371,68 |
| 2369,45 | 2 | | 2369,45 |
| 2364,91 | 2 | | 2365,00 |
| *2364,61 | 2 | | 2364,66 |
| 2355,53 | 1 | | 2355,60 |
| *2352,67 | 3 | | 2352,75 |
| 2351,55 | 1 | | 2351,66 |
| 2347,14 | 1 | | 2347.21 |
| 2344,28 | 2 | | 2344,35 |
| 2341,69 | 1 | | |
| *2340,22 | 4 | | 2340,29 |
| *2334,11 | 1 | verbreitert | 2334,20 |
| 2331,94 | 3 | | 2332,01 |
| 2331,39 | 1 | | |
| 2325,71 | 2 | | 2325,82 |
| 2325,30 | 2 | | 2325,37 |
| 2324,71 | 1 | | 2324,79 |
| *2322,27 | 3 | | 2322,39 |
| 2320,23 | 1 | | 2320,37 |
| 2318,33 | 1 | | 2318,45 |
| *2315,86 | 2 | | 2315,93 |
| 2314,67 | 3 | | 2314,75 |
| 2312,19 | 1 | | 2312,35 |
| 2309,45 | 3 | | 2309,52 |
| 2308,21 | 1 | | 2308,32 |
| *2304,79 | 3 | | 2304,90 |
| 2301,02 | 1 | | 2301,15 |
| 2298,18 | 1 | | |
| 2296,84 | 1 | | 2296,66 |
| 2295,12 | 2 | | 2295,23 |
| 2293,99 | 2 | | 2294,00 |
| 2291,50 | 3 | | 2291,60 |
| 2288,61 | 1 | | 2288,70 |
| 2287,75 | 1 | | 2287,75 |
| *2283,29 | 3 | | 2283,42 |
| *2282,89 | 2 | | 2283,01 |
| 2279,37 | 1 | | 2279,50 |
| 2277,62 | 2 | | 2277,75 |
| 2270,19 | 1 | | |
| 2267,00 | 1 | | |
| 2265,94 | 1 | | 2266,10 |
| 2263,71 | 2 | | 2263,88 |
| 2262,72 | 2 | | 2262,82 |

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| 2261,31 | $i = 1$ | | 2261,45 |
| 2260,39 | 1 | | 2260,52 |
| 2255,01 | 1 | | 2255,07 |
| 2253,42 | 1 | | 2253,53 |
| 2249,03 | 1 | | 2249,13 |
| 2248,68 | 1 | | 2248,74 |
| 2246,67 | 2 | | 2246,73 |
| *2242,67 | 2 | | 2242,80 |
| 2240,25 | 1 | | 2240,40 |
| 2237,46 | 1 | | 2237,55 |
| 2233,66 | 1 | | 2233,80 |
| 2231,28 | 1 | | 2231,40 |
| 2229,00 | 2 | | 2229,05 |
| 2222,55 | 1 | | 2222,60 |
| 2220,48 | 1 | | 2220,59 |
| 2219,21 | 1 | | 2219,30 |
| 2215,72 | 1 | | 2215,82 |
| 2213,14 | 1 | | 2213,26 |
| 2210,62 | 1 | | 2210,75 |
| 2210,19 | 1 | | |
| 2205,84 | 1 | | 2205,97 |
| *2201,31 | 2 | | 2201,45 |
| 2190,43 | 1 | | |
| 2188,92 | 1 | | 2189,00 |
| 2186,65 | 1 | | |
| 2185,56 | 1 | | |
| 2184,11 | 1 | | 2184,19 |
| 2172,16 | 1 | | |
| 2157,11 | 1 | | 2157,29 |
| 2125,15 | 1 | | 2125,40 |
| *2110,60 | 3 | | 2110,85 |
| *2082,00 | 3 | | |
| *2044,50 | 1 | | |
| *2000,68 | 1 | | |
| 1988,89 | 1 | | |

## Kohle.

Das Funkenspektrum der Kohle besitzt in dem hier untersuchten Spektralbezirk eine scharfe Hauptlinie, welche stets auftaucht, wenn reine Kohle oder eine mit Metallsalzen imprägnierte Kohle als Funkenelektrode benutzt wird.

Die Kohlenlinie besitzt zufolge meiner Messungen nach dem internationalen System die Wellenlänge

$$C = \lambda\ 2296,85.$$

## Silber.

Das Funkenspektrum des Silbers ist vielfach untersucht worden, jedoch sind die von verschiedenen Beobachtern mitgeteilten Wellenlängen dieses linienreichen, aber leicht an Unschärfe leidenden Spektrums stark abweichend.[17]) Dies gilt auch von den früher erwähnten unrichtigen Messungen Kaspers, welche aus der Liste der brauchbaren Normalen zu streichen sind.

Zur Feststellung der Normalen im Silberfunkenspektrum bediente ich mich verschiedener Legierungen von Kupfer und Silber, welche 1, 3, 10 bis 50% Silber enthielten. Dadurch wurde die relative Lage der Kupfer-Silberlinien gesichert und die bei intensivsten Silberlinien, welche sehr zu Verbreiterungserscheinungen und Unschärfe neigen, mit Hilfe der silberärmeren Legierungen mit befriedigender Feinheit und Schärfe erhalten. Das Funkenspektrum des Silbers liefert bei Benutzung lichtstarker Quarzprismenspektrographen gut brauchbare, wenn auch nicht völlig scharfe Normalen.

Funkenspektrum des Silbers.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| *2413,21 | $i$ = 10 | | 2413,31 |
| *2411,37 | 8 | | 2411,49 |
| 2410,09 | 2 | | 2410,20 |
| 2404,98 | 1 | verbreitert | 2405,08 |
| 2402,59 | 1 | " | 2402,68 |
| 2395,64 | 3 | | 2395,76 |
| 2392,94 | 2 | " | 2393,06 |
| 2390,55 | 4 | | 2390,66 |
| 2386,80 | 1 | | 2386,91 |
| 2386,34 | 1 | | 2386,40 |
| 2383,21 | 1 | | 2383,25 |
| 2365,67 | 1 | " | 2365,77 |
| 2363,99 | 5 | | 2364,09 |
| 2362,17 | 4 | | 2362,28 |
| *2358,85 | 7 | | 2358,95 |
| *2357,92 | 6 | | 2358,00 |
| 2343,75 | 1 | | 2343,85 |
| 2341,92 | 1 | | 2342,00 |
| 2339,16 | 1 | | 2339,25 |
| 2332,25 | 2 | unscharf | 2332,37 |
| *2331,36 | 8 | | 2331,48 |
| *2325,03 | 5 | | 2325,20 |
| *2324,65 | 5 | | 2324,76 |
| 2321,50 | 2 | verbreitert | 2321,64 |

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (*i*) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| *2320,23 | *i* = 7 | | 2320,37 |
| 2318,47 | 1 | | 2318,60 |
| *2317,03 | 6 | | 2317,13 |
| 2309,57 | 3 | sehr verbreitert | 2309,70 |
| 2296,04 | 2 | | 2296,15 |
| 2290,94 | 1 | | 2291,17 |
| 2286,42 | 2 | | 2286,57 |
| 2282,56 | 1 | | 2282,74 |
| *2279,96 | 6 | | 2280,10 |
| 2277,37 | 2 | | 2277,50 |
| 2275,24 | 2 | verbreitert | 2275,39 |
| 2253,46 | 2 | " | 2253,52 |
| *2248,72 | 4 | | 2248,81 |
| *2246,37 | 4 | " | 2246,50 |
| 2241,34 | 1 | | 2241,87 |
| 2240,44 | 1 | | 2240,50 |
| 2238,36 | 1 | | 2238,47 |
| 2229,49 | 2 | | 2229,65 |
| 2226,09 | 1 | | 2226,25 |
| 2219,69 | 2 | | 2219,75 |
| 2211,19 | 2 | | 2211,25 |
| 2208,49 | 2 | | 2208,58 |
| 2205,95 | 2 | | 2206,02 |
| 2204,34 | 1 | | 2204,50 |
| 2203,58 | 1 | | 2203,71 |
| 2202,08 | 1 | | 2202,18 |
| 2191,80 | 1 | | 2191,97 |
| *2186,73 | 4 | | 2186,88 |
| 2171,58 | 2 | | 2171,85 |
| 2170,84 | 2 | | 2171,05 |
| 2166,42 | 3 | | 2166,65 |
| 2161,84 | 2 | | 2162,03 |
| 2149,10 | 1 | | 2149,38 |
| *2145,55 | 3 | | 2145,75 |
| 2125,44 | 2 | | 2125,54 |
| 2120,36 | 2 | | 2120,51 |
| *2113,76 | 3 | | 2113,90 |
| *2065,85 | 3 | | — |

## Strontium.

Das Funkenspektrum des Strontiums stellte ich mittels Gaskohle mit aufgeschmolzenem Strontiumnitrat her. Die Strontiumlinien sind in diesem Bezirke wenig charakteristisch.

## Funkenspektrum des Strontiums.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (*i*) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| 2324,44 | *i* = 1 | | 2324,2 |
| 2322,36 | 4 | einseitig nach Rot verbreitert | 2322,53 |
| 2282,06 | 1 | | 2282,20 |
| 2165,97 | 2 | | 2166,10 |
| 2152,87 | 2 | | 2153,00 |

### Thallium.

Zur Erzeugung des Thalliumfunkens benutzte ich metallisches Thallium mit gegenübergestellter Kupferelektrode und ergänzte die Liste der Linien durch Messungen an reinem Thallium. Exner und Hascheks Tabelle des Funkenspektrums des Thalliums[18]) ist sehr unvollständig, da das von ihnen benutzte Thalliumchlorid in dem hier in Betracht kommenden Spektralbezirke bloß die einzige Linie $\lambda$ 2298 liefert. Deshalb zog ich die ältere Publikation von Eder und Valenta, welche das ultraviolette Funkenspektrum des metallischen Thalliums zum Gegenstande hat,[19]) zum Vergleiche heran.

## Funkenspektrum des Thalliums.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien (*i*) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Eder und Valenta |
| 2394,62 | *i* = 1 | | 2394,72 |
| 2379,58 | 10 | umgekehrt | 2379,68 |
| 2364,94 | 2 | | 2365,00 |
| 2315,98 | 4 | verbreitert | 2316,14 |
| 2298,14 | 6 | | 2298,25 |
| 2285,95 | 1 | | 2285,95 |
| 2237,79 | 3 | umgekehrt | 2237,83 |
| 2210,28 | 1 | umgekehrt, unscharf | 2210,79 |
| 2207,06 | 1 | unscharf | 2007,21 |
| 2139,21 | 1 | | 2139,44 |

## Wismut.

Das Funkenspektrum des metallischen Wismuts zeigt zumeist ziemlich unscharfe Linien; stets fand ich Silber- (λ 2331 und 2324) sowie Antimonlinien (λ 2311) als Verunreinigungen vor. Die Wismutlinie λ 2228,32 ist nur bei sehr kurzer Belichtung scharf; bei längerer Belichtung verbreitert sie sich gegen die kurzwellige Seite und dann erscheint die Mitte der Linie bei λ 2228,20 oder 2228,22, aber der Schwerpunkt der Linie liegt trotzdem bei λ 2228,32.

Ich fand folgende Bi-Linien:

Funkenspektrum des Wismuts.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| 2400,90 | $i = 10$ | | 2400,97 |
| 2368,53 | 2 | | 2368,65 |
| 2368,24 | 2 | unscharf | 2368,48 |
| 2276,54 | 2 | | 2276,63 |
| 2246,41 | 1 | | 2246,53 |
| 2230,61 | 5 | umgekehrt | 2230,68 |
| 2228,32 | 2 | kurz belichtet | 2228,30 |
| 2214,05 | 1 | | 2214,15 |
| 2203,57 | 2 | | 2202,8 |
| 2186,96 | 2 | | 2187,05 |
| 2144,44 | 1 | unscharf | 2144,58 |

## Zink.

Wie Eder und Valenta bereits in ihrem „Atlas typischer Spektren", I, S. 135, erwähnt und durch heliographische Reproduktionen von Spektrumphotographien gezeigt haben, sind die ultravioletten Linien des Funkenspektrums des Zinks sehr wichtig zur Orientierung in diesem Spektralbezirke, weil das Zinkspektrum speziell auch im Bezirke um λ 2000 so hell ist, daß man es nicht nur leicht photographieren, sondern auch auf fluoreszierenden Urangläsern optisch leicht wahrnehmen kann; deshalb benutzt man diese Linien mit Vorliebe, um Quarzprismenspektrographen auf das Minimum der Ablenkung im stärker brechbaren Ultraviolett einzustellen. Die genaue Kenntnis der Wellenlängen der Hauptlinien des Zinks ist erwünscht, da sie auch eine Lücke in der Reihe der Kupferstandards ausfüllen.

Nachstehende Tabelle gibt die mittels einer Legierung von 40% Zink und 60% Kupfer gewonnenen Standards (*), mittels welcher die übrigen Zinklinien am Funkenspektrum reinen metallischen Zinks ermittelt wurden. Es sind nur die charakteristischen Hauptlinien des Zinkfunkenspektrums nach dem internationalen System berücksichtigt worden; zum Vergleiche sind ältere von Eder und Valenta im Jahre 1899 ausgeführte und auf Rowlands System bezogene Messungen angeführt worden.[20] Exner und Haschecks Zahlen reichen nicht so weit ins kurzwellige Ultraviolett.

Funkenspektrum des Zinks.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Eder u. Valenta | Exner u. Haschek |
| *2138,55 | $i = 3$ | umgekehrt | 2138,66 | 2138,67 |
| 2104,34 | 2 | | 2104,51 | 2104,50 |
| *2102,18 | 4 | | 2102,35 | 2102,30 |
| 2099,97 | 5 | verbreitert | 2100,06 | 2100,10 |
| 2096,88 | 2 | | 2096,99 | 2096,98 |
| 2087,27 | 2 | | 2087,14 | |
| 2079,10 | 2 | | 2079,17 | |
| 2070,11 | 1 | | 2070,18 | |
| *2064,29 | 4 | | 2064,32 | |
| *2061,96 | 4 | umgekehrt | 2062,08 | |
| 2025,49 | 2 | „ | 2025,51 | |

## Zinn.

Das Zinn zeigt im kurzwelligen Ultraviolett unter λ 2400 bis λ 2000 wenig charakteristische Linien, welche überdies zumeist nur geringe Schärfe aufweisen. Ich ermittelte einige Zinnstandards (*) mit einer 50prozentigen Kupfer-Zinn-Legierung und interpolierte die anderen Zinnlinien hiernach im Funkenspektrum des reinen Zinns.

Funkenspektrums des Zinns.

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| *2395,64 | $i = 1$ | | |
| 2382,06 | 1 | | |
| 2380,75 | 1 | | 2380,80 |
| 2368,24 | 3 | | 2368,31 |

| Wellenlängen nach dem internationalen System (Eder) | Intensität der Linien ($i$) | Bemerkungen | Ältere Messungen nach Rowlands System |
|---|---|---|---|
| | | | Exner und Haschek |
| 2364,84 | $i = 1$ | | |
| *2354,85 | 5 | umgekehrt | 2354,93 |
| *2334,81 | 4 | | 2334,87 |
| *2317,21 | 5 | „ | 2317,38 |
| 2286,68 | 1 | | 2286,80 |
| 2282,26 | 1 | | |
| *2268,89 | 3 | „ | 2269,02 |
| 2267,24 | 1 | | 2267,50 |
| 2251,24 | 1 | | |
| 2246,04 | 3 | umgekehrt, verbreitert | 2246,11 |
| 2231,78 | 1 | | 2231,90 |
| *2220,86 | 2 | | 2221,25 |
| 2209,66 | 2 | verbreitert | 2209,71 |
| 2199,43 | 2 | „ | 2199,68 |
| 2194,52 | 1 | unscharf | 2194,67 |
| *2151,45 | 2 | | 2151,62 |
| 2150,79 | 1 | | 2150,97 |

Die durch diese Messungen ermittelte ziemlich große Anzahl von Funkenlinien nach dem internationalen Wellenlängensystem gibt gute Anhaltspunkte zur Ortsbestimmung von Spektrallinien in dem bisher ungenau bekannten Bezirke unter $\lambda$ 2400; hiermit wird auch die Ermittlung der Dispersionsformeln für das prismatische Spektrum mit Quarzapparaten in diesem Bezirke mit größerer Genauigkeit als bisher ermöglicht.

## Anmerkungen.

1) Aus den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Klasse; Bd. CXXII. Abt. IIa. März 1913.

2) Kaysers Handbuch der Spektroskopie **VI.** 887. 1912.

3) Hartmann, Physik. Zeitschr. **10.** 121.

4) Exner und Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck. 2. Aufl., 1911 bis 1912.

5) Eder und Valenta, Atlas typischer Spektren. Tafel LIII. 1911.

6) Beschreibung siehe Eder und Valenta, Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss. Wien, Nov. 1895; ferner Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse **III.** 170. 1904.

7) Dhein, Messungen im Funkenspektrum des Palladiums. Zeitschr. f. wiss. Photogr. **11.** 317. 1912.

8) Fr. J. Kasper, Messungen am Silberspektrum. Zeitschr. f. wiss. Photogr. **10.** 53—62. 1912; auch abgedruckt in Kaysers Handbuch der Spektroskopie **VI.** 1027. Tabelle 8.

9) Eder und Valenta, Normalspektren einiger Elemente zur Wellenlängenbestimmung im äußersten Ultraviolett. Denkschr. der kais. Akad. d. Wiss. Wien, 13. Juli 1899; ferner Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. Wien 1904.

10) Fr. Exner und E. Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck. 2. Aufl. **1.** 13. 1911.

11) C. Runge, Die Wellenlängen der ultravioletten Aluminiumlinien. Wiedemanns Ann. d. Phys. **55.** 44. 1895.

12) Eder und Valenta, Atlas typischer Spektren. Wien 1911. (Mit heliographischen Abbildungen des Aluminiumspektrums im Gitter- und im Quarzspektrographen.

13) Kayser, Handbuch der Spektroskopie **V.** 103.

14) H. Schippers, Messungen im Antimonspektrum. Zeitschr. f. wiss. Photographie **11.** 235 u. 241. 1912.

15) K. Schmitz, Messungen im Bariumspektrum. Zeitschr. f. wiss. Photographie **11.** 209. 1912.

16) Fritz Klein, Das Bogen- und Funkenspektrum des Bleies in I. A. Zeitschrift f. wiss. Photogr. **12.** 16. 1913.

17) Vgl. H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie **V.** 75. 1910.

18) Exner und Haschek, Die Spektren der Elemente **III.** 252. 1912.

19) Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss. Wien, 13. Juli 1899; auch Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, S. 377. 1904.

20) Eder und Valenta, Normalspektren einiger Elemente zur Wellenlängenbestimmung im äußersten Ultraviolett. Denkschr. der kais. Akad. d. Wiss. Wien, 13. Juli 1898; auch abgedruckt in Eder und Valentas Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, Wien 1904. — Unsere älteren Messungen berücksichtigen auch eine größere Anzahl schwacher Zinklinien, welche bei meiner Revision auf Grund des internationalen Systems von mir als unwichtige Nebenlinien weggelassen wurden.

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.

Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1913. Heft 2.

## Über Oxydation und Schutz der Sulfit-Hydrochinonlösungen.

Von

Joh. Pinnow.

In der ersten Abhandlung über die gemeinsame Oxydation von Hydrochinon und Sulfit durch Luftsauerstoff[1]) hatte ich angegeben, daß im Grenzfalle bei ausreichender Menge Sulfit auf ein Molekül Hydrochinon in der ersten Reaktionsstufe zwei Moleküle Sulfit verschwänden und ein Molekül Sulfat und ein Molekül Hydrochinonmonosulfonat sich bilde. Für das Auftreten des Monosulfonats konnte ich damals in Anbetracht seiner Leichtlöslichkeit als Gründe nur die Maskierung von einem Molekül Sulfit auf ein Molekül verbrauchtes Hydrochinon, die Abnahme des Verbrauchs an Fehlingscher Lösung und das Auftreten des leichter isolierbaren und von Storch,[2]) Kauffmann[3]) und mir[4]) als Produkt der zweiten Reaktionsstufe nachgewiesenen Hydrochinondisulfonats anführen. Es ist mir nun gelungen, das Hydrochinonmonosulfonat in einer solchen Menge aus einer oxydierten Lösung zu isolieren, daß es als ein Hauptprodukt der ersten Reaktionsstufe charakterisiert ist.

Es hatte sich ferner gezeigt, daß die Oxydationsgeschwindigkeit mit zunehmender Alkalität der Sulfit-Hydrochinonlösung wächst und umgekehrt man imstande ist, durch deren Hintenanhalten, indem man einen Teil des Sulfits in Bisulfit überführt, die Oxydation zu verzögern.[4]) Gleichzeitig verschob sich das Verhältnis zwischen verbrauchtem Sulfit und Hydrochinon zuungunsten des ersteren. Wieweit man mit dem Säurezusatz herabgehen kann, um doch noch mit entsprechendem Erfolg Sulfit-Hydrochinonlösungen vor Oxydation zu schützen und wie sich das Oxydationsverhältnis mit wachsender Säuremenge verschiebt, sollte durch die nachstehenden Versuchsreihen ermittelt werden. Auch hier zeigt sich wieder, daß in der einzelnen Versuchsreihe das Verhältnis zwischen verbrauchtem

Hydrochinon und Sulfit nicht konstant bleibt. Mit zunehmender Konzentration der Hydroxylionen steigt absolut und zunächst auch relativ der Hydrochinonverbrauch, und erst, wenn erhebliche Mengen Monosulfonat entstanden sind und sich an der Reaktion leicht erkennbar beteiligen, nimmt der absolute Verbrauch an Hydrochinon nur noch wenig zu, der relative fällt beträchtlich. Versuchsanordnung und analytische Verfahren sind früher[5]) mitgeteilt.

## Tabelle 1.

Die Lösung enthielt 0,0192 Mol. Essigsäure auf 1 l.

| Tage | 2 ccm = ccm $n/10$ Jod | 6 ccm = g Hydrochinon | Abnahme des Jodtiters auf 1 Tg. : 2 | Abnahme der Hydrochinonkonzentration auf 1 Tg. | Abnahme des halben Jodtiters: Abnahme der Hydrochinonkonz. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 21,68 | 0,0996 | — | — | — |
| 24 | 20,60 | 0,0900 | 0,00113 | 0,00060 | 1,84 |
| 44 | 18,80 | 0,0700 | 0,00225 | 0,00152 | 1,49 |
| 52 | 17,74 | 0,0581 | 0,00331 | 0,00226 | 1,46 |
| 60 | 16,34 | 0,0453 | 0,00438 | 0,00243 | 1,80 |
| 68 | 14,14 | 0,0279 | 0,00688 | 0,00326 | 2,09 |
| 74 | 12,02 | 0,0118 | 0,00883 | 0,00407 | 2,17 |
| 77 | 10,88 | 0,0036 | 0,00950 | 0,00413 | 2,30 |

## Tabelle 2.

[Essigsäure] = 0,0384.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 21,70 | 0,0996 | — | — | — |
| 24 | 20,80 | 0,0933 | 0,00094 | 0,00040 | 2,37 |
| 44 | 19,64 | 0,0854 | 0,00145 | 0,00060 | 2,42 |
| 60 | 18,38 | 0,0756 | 0,00197 | 0,00093 | 2,11 |
| 77 | 16,54 | 0,0522 | 0,00271 | 0,00208 | 1,30 |
| 95 | 13,54 | 0,0225 | 0,00417 | 0,00250 | 1,67 |
| 101 | 12,20 | 0,0116 | 0,00558 | 0,00275 | 2,03 |
| 106 | 11,02 | 0,0021 | 0,00590 | 0,00288 | 2,05 |

## Tabelle 3.

[Essigsäure] = 0,0768.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 21,70 | 0,0996 | — | — | — |
| 24 | 20,92 | 0,0949 | 0,00081 | 0,00030 | 2,75 |
| 52 | 19,70 | 0,0887 | 0,00109 | 0,00034 | 3,25 |
| 74 | 18,66 | 0,0833 | 0,00118 | 0,00037 | 3,17 |
| 95 | 17,76 | 0,0776 | 0,00107 | 0,00041 | 2,62 |
| 126 | 16,14 | 0,0678 | 0,00131 | 0,00048 | 2,72 |
| 165 | 12,80 | 0,0347 | 0,00214 | 0,00128 | 1,67 |

Tabelle 4.

[Essigsäure] = 0,139.

| Tage | 2 ccm = ccm $n/10$ Jod | 6 ccm = g Hydrochinon | Abnahme des Jodtiters auf 1 Tg. : 2 | Abnahme der Hydrochinonkonzentration auf 1 Tg. | Abnahme des halben Jodtiters: Abnahme der Hydrochinonkonz. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 21,54 | 0,1000 | — | — | — |
| 14 | 21,00 | 0,0979 | 0,00096 | 0,00023 | 4,22 |
| 31 | 20,48 | 0,0959 | 0,00076 | 0,00018 | 4,33 |
| 56 | 19,58 | 0,0923 | 0,00090 | 0,00022 | 4,17 |
| 80 | 18,62 | 0,0878 | 0,00100 | 0,00029 | 3,48 |
| 124 | 16,76 | 0,0809 | 0,00106 | 0,00024 | 4,47 |
| 157 | 15,42 | 0,0753 | 0,00102 | 0,00026 | 3,94 |
| 182 | 14,40 | 0,0709 | 0,00102 | 0,00026 | 3,86 |
| 221 | 12,76 | 0,0646 | 0,00105 | 0,00025 | 4,27 |

Der starke Abfall der in der letzten Spalte verzeichneten Werte in Tabelle 1 und prägnanter in Tabelle 2 fällt zusammen mit der Absättigung der zu Beginn zugesetzten Essigsäure durch das bei der Reaktion entstehende Alkali, wenn also die durch Ansäuern erzielte Schutzwirkung aufhören muß. Es betrug das molekulare Verhältnis zwischen Sulfit und Hydrochinon in den Reihen I bis III 2,59, in Reihe IV 2,55, in Bisulfit waren umgewandelt 4,9% (I), 9,8% (II), 19,6% (III), 35,9% (IV) Sulfit.

Eine nicht angesäuerte Sulfit-Hydrochinonlösung von gleicher Konzentration wie die vorstehenden hatte in 32 Tagen alles Hydrochinon eingebüßt und war auf den halben Wirkungswert gesunken (l. c.). Danach scheint fast die für Versuchsreihe II gewählte Säurekonzentration (0,0384 $n$), die der Lösung eine Halbwertszeit von 106 Tagen verleiht, ausreichend zu sein. Indessen steigt auch hier Oxydationsgeschwindigkeit und Verbrauch an Hydrochinon noch erheblich an. Über 0,0768 $n$ für die Essigsäurekonzentration hinauszugehen, empfiehlt sich nicht. Der geringe Mehrerfolg an Schutzwirkung entspricht nicht der beträchtlichen Steigerung der Säurekonzentration. Eine Säurekonzentration gleich 0,05 $n$, also 3 ccm Eisessig auf 1 l der gewöhnlichen Sulfit-Hydrochinonlösung (5 g Hydrochinon, 25 g kristallwasserhaltiges Natriumsulfit, 300 ccm Wasser) möchte ich als geeignet empfehlen. Unter Benutzung der Werte der Tabellen 2 und 3 wäre ihr annähernd die vierfache Haltbarkeit der nicht angesäuerten Lösung zuzuschreiben. Beim Ansetzen des Entwicklers ist, wie der folgende Versuch zeigt, durch Erhöhung des Sodazusatzes auf das Eineinhalbfache die Säuerung auszugleichen.

Eine Bromsilberplatte (von Perutz) wurde streifenweise in steigendem Grade belichtet, quer zu den Streifen geschnitten und entwickelt erstens in 15 ccm Sulfit-Hydrochinonlösung der oben mitgeteilten Konzentration (I), 5 ccm Sodalösung (0,833 *n*) (II), 5 ccm Wasser, zweitens 15 ccm I, 5 ccm II, 1 ccm Essigsäurelösung (0,75 *n*) (III), 4 ccm Wasser, drittens 15 ccm I, 5 ccm II, 1 ccm III, 1 ccm Sodalösung (0,75 *n*), 3 ccm Wasser, viertens 15 ccm I, 5 ccm II, 1 ccm III, 3 ccm Sodalösung (0,75 *n*), 1 ccm Wasser; Entwicklungsdauer 6$^3/_4$ Minuten. Streifen 2 blieb stark, Streifen 3 nur unbedeutend hinter dem Normalstreifen 1 zurück; Streifen 4 fiel dunkler als 1 aus. Die Überführung der Säure in Acetat und Bicarbonat genügt also noch nicht zum Ausgleich der Säuerung.

Der von den Bestimmungen verbliebene Rest der Lösung II (90 ccm) wurde mit Schwefelsäure bis zur bleibenden sauren Reaktion auf Kongopapier angesäuert, bis auf ca. 20 g eingeengt, nach dem Erkalten unter Umrühren in kleinen Portionen mit 10 ccm Methylalkohol versetzt, und das Gemisch von Natriumsulfat und wenig Disulfonat abgesaugt und mit Methylalkohol gewaschen. Das Filtrat wurde zur Trockne verdampft und der fein gepulverte Rückstand wiederholt mit Methylalkohol ausgekocht; beim Erkalten, event. nach dem Einengen schied sich hydrochinonmonosulfosaures Natrium, frei von Sulfat, aus; erhalten 2,05 g = 73% der Theorie, berechnet aus dem verbrauchten Hydrochinon. Der Verlust ist auf teilweisen Übergang in Disulfonat und die in der Mutterlauge verbliebene Substanz zurückzuführen. Zur Analyse wurde aus Methylalkohol umkristallisiert.

Das hydrochinonmonosulfosaure Natrium kristallisiert aus Methylalkohol in kleinen, dünnen, länglichen, schräg abgeschnittenen Blättchen.

0,3932 g Salz gaben 0,1296 g $Na_2SO_4$,
0,3516 g „ „ 0,3795 g $BaSO_4$.

Berechnet für $C_6H_5SO_5$ Na Prozente Na 10,85, S 15,09.
Gefunden „ Na 10,68, S 14,82.

Ansäuern der Oxydationsflüssigkeit mit Salzsäure empfiehlt sich nicht, da Kochsalz sich nur schwer vom Natriummonosulfonat trennen läßt; beim Erkalten einer verdünnt-äthylalkoholischen Lösung und beim Fällen mit Äther scheidet sich kochsalzhaltiges Monosulfonat ab. Man muß dessen methylalkoholische Lösung

einengen, bis neben Kochsalz sich etwas Monosulfonat abzuscheiden beginnt, dieses durch wenig Methylalkohol wieder in Lösung bringen und die Lösung vom Kochsalz abgießen. Beim Erkalten wird fast reines Monosulfonat erhalten, das eventuell durch Wiederholung der Operation völlig sich vom Kochsalz befreien läßt. Dem Methylalkohol gegenüber scheint sich Kochsalz wie gegen Wasser zu verhalten, nämlich in der Hitze nur wenig löslicher als in der Kälte zu sein und auch hierin der Methylalkohol vor verdünntem Äthylalkohol sich als Kristallisationsmittel auszuzeichnen.

## Zusammenfassung.

1. Das hydrochinonmonosulfosaure Natrium wird als ein Hauptprodukt der ersten Oxydationsstufe von Sulfit-Hydrochinonlösungen nachgewiesen und charakterisiert.

2. Es wird gezeigt, daß durch geringen Essigsäurezusatz (0,05 Moleküle auf 1 l) sich die Haltbarkeit der für gewöhnlich als Entwickler dienenden Sulfit-Hydrochinonlösung auf ungefähr das Vierfache erhöhen läßt und die Säuerung durch das Doppelte der zur Neutralisation nötigen Sodamenge wieder ausgeglichen wird.

## Literatur.

1) Zeitschr. f. wiss. Phot. **9.** 289. 1912.
2) Berichte der österreich. Ges. z. Förderung der chem. Industrie 1893.
3) Berichte der Deutschen Chem. Ges. **40.** 4550. 1907.
4) Zeitschr. f. Elektrochemie **19.** 266. 1913.
5) Zeitschr. f. anal. Chemie **50.** 155. 1911 und Zeitschr. f. wiss. Phot. **9.** 293. 1912.

Eingegangen am 29. August 1913.

# Neue Messungen der Bogenspektra einiger Metalle unterhalb $\lambda = 3200$.*)

Von
Wilhelm Huppers.

Mit 1 Tafel.

Bei einigen Elementen sind die meisten Linien ihrer Spektra durch das Ritzsche Prinzip eingeordnet. Man vergleiche hierzu die Arbeiten von Paschen und seinen Schülern. Zugleich sind die Spektra bis weit ins Ultrarot untersucht. Dem gegenüber sind die ultravioletten Regionen und besonders der Bereich der Schumannstrahlen viel weniger bekannt. Denn meist wurden die Untersuchungen gemacht mit Hilfe von Gittern, die in jenem äußersten Teil des Spektrums verhältnismäßig lichtschwache Bilder liefern; dazu kommt die Benutzung einfacher Linsen als Kondensatoren und gewöhnlich eine Fokussierung nur für die sichtbaren Strahlen. Es hat also eine neue Untersuchung des ultravioletten Teiles der Spektra mehrfaches Interesse im Hinblick auf

1. Die Messung ultravioletter Wellenlängen im allgemeinen,
2. Eine Untersuchung der Linien, die nachweislich keinen Platz in den bisher bekannten Seriensystemen finden können,
3. Die Auffindung neuer Seriensysteme (wie schon bei Ca, Sr und anderen der Anfang gemacht ist),
4. Einen Vergleich des Bogen- und Funkenspektrums, besonders was die Verteilung der Linien in beiden Spektren angeht.

Bei der Wahl des zu untersuchenden Spektrums waren folgende Gesichtspunkte entscheidend. Die zu erreichende Genauigkeit kann höchstens $\pm 0{,}01$ bis 0,02 A.-E. betragen; denn erstens sind die Normalen in diesem Bereich nicht genauer bekannt, und zweitens macht es aus hier nicht zu erörternden Gründen überhaupt Schwierigkeiten, die nächste Dezimale noch zu erreichen. Nun ist aber, wie diese Abhandlung zeigt, diese Genauigkeit mit einem Quarzprisma erreichbar. Dazu kommt beim Prismenspektrum der Vorteil größerer Lichtstärke und Vermeidung des bei Konkavgittern auftretenden Astigmatismus. So habe ich im folgenden auch nur Prismenspektra untersucht und war dadurch imstande, Linien kleiner Intensität zu messen und bisher unbekannte Linien als Serien- oder Kombinationslinien nachzuweisen.

Das Hauptziel dieser Untersuchung ist eine Neumessung einiger Bogenspektra im allgemeinen. Es sind bisher nur zwei zuverlässige

*) Ausgeführt mit Hilfe von Mitteln aus der Jagorstiftung, für deren Bewilligung auch an dieser Stelle ergebenst gedankt sei.

Messungen vorhanden; aber in diesen treten häufig so große Abweichungen auf, sowohl was Wellenlängen einiger Linien, als auch die Zahl der vorhandenen Linien angeht, daß eine dritte Messung sehr erwünscht ist.

Eine Beschreibung des benutzten Spektrographen, sowie ausführliche Angaben über die Justierung des Apparates finden sich in der Arbeit von H. Koenemann.[1]) Der Spektrograph wurde nach Angaben von Herrn Prof. Konen von der Firma Toepfer in Potsdam angefertigt. Bezüglich aller Einzelheiten verweise ich auf die oben genannte Arbeit. Die Aufnahmen selbst wurden hergestellt von Herrn Prof. Konen, der sie mir dann zur Untersuchung überließ. Der Lichtbogen wurde hergestellt zwischen Elektroden aus dem betreffenden Metall.[2]) Die Stromstärke schwankte zwischen 1 und 20 Amp. Der Strom wurde dem städtischen Netz, und zwar dem + 220 Zweig entnommen. Die Aufnahmen, die ich benutzte, umfassen zunächst nur den bisher auch mit Gittern gemessenen Bereich. Weitere bis zur Grenze der Durchlässigkeit der Luft reichende Aufnahmen auf gelatinearmen Platten sollen baldigst in gleicher Weise ausgemessen werden.

Zur Ausmessung der Platten diente eine nach den Angaben von Herrn Prof. Konen von Heele in Berlin angefertigte Meßmaschine. Sie wurde aus Mitteln der Hittorfstiftung für das hiesige Institut beschafft und besteht im wesentlichen aus einer etwa 30 cm langen Schraube, die einen Schlitten, der die zu messende Platte trägt, hin und her bewegt. Der Kopf der Schraube trägt eine versilberte Teilung in 500 Intervallen. Die Ganghöhe der Schraube beträgt 0,5 mm. Es entspricht also einem Intervall am Kopfe 0,001 mm. Eine wesentliche Verbesserung des Apparates wurde erreicht durch Einbauung einer Registriervorrichtung. Die Drehung der Schraube wird durch Zahnräder übertragen auf zwei drehbare Trommeln. Beide tragen auf ihrem Rande die Zahlen erhaben, nach Art eines Stempels, die eine die halben Millimeter, die zweite die tausendstel. Die letztere macht bei einer Umdrehung der Schraube ebenfalls nur eine Umdrehung, während die erstere sich nur um 0,5 mm weiter verschiebt. Den auf den beiden Trommeln befindlichen Zahlen genau gegenüber liegt ein etwa 1 cm breites, ebenes Eisenstückchen, ein „Kissen“, das befestigt ist an dem einen Ende eines zweiarmigen Druckhebels. Zwischen Trommel und „Kissen“ wird ein schmaler Papierstreifen und ein ebenso breites Farbband geführt. Durch Niederdrücken des Hebels preßt

sich das Kissen fest gegen die beiden Trommeln und der jedesmalige Stand des Schlittens wird auf dem Papierstreifen genau registriert. Da sich außerdem durch Bewegen des Hebels der Papierstreifen mechanisch weiterschiebt und auf eine an der Seite befindlichen Rolle aufgewickelt wird, so ist der Apparat jederzeit zur Aufnahme einer Messung bereit. Eine Abbildung der Maschine, allerdings ohne den Registrierapparat, findet sich in einer Arbeit von Papenfus.[3]) Dieselbe Arbeit gibt auch eine genaue Untersuchung der Schraube.[4]) Da aber die dort beschriebene Schraube in ihrer ganzen Länge einer Überarbeitung unterzogen ist, wurde sie von Herrn Prof. Konen nochmals untersucht.[5]) Er fand, daß die fortschreitenden Fehler einen sehr gleichmäßigen Gang zeigen und auf einer Strecke von 5 cm 1 $\mu$ nicht überschreiten. Diese sowohl wie die periodischen Fehler sind zu vernachlässigen, Korrektionen also überflüssig. Ich habe jede Linie 4 mal gemessen bei stets wechselnder Meßrichtung. Dadurch erreichte ich möglichst eine Beseitigung der persönlichen Messungsfehler. Es wurde eingestellt auf die Mitten der Linien mit einfachem Faden. Der tote Gang der Schraube, der etwa 0,004 mm betrug, wurde dadurch beseitigt, daß ich jedesmal das Mittel aus den 4 Messungen nahm. Zu Normalen habe ich stets von Exner und Haschek gemessene Bogenlinien genommen. Ich erreichte dadurch einen besseren Vergleich mit den vorhandenen Messungen, da sich in dem von mir untersuchten Bereiche fast alle auf die Rowlandschen Normalen beziehen, außerdem fehlt es an tertiären Normalen und endlich ist es ohne weiteres möglich, die gemessenen Zahlen mittels der Korrektionstabelle von Kayser[6]) auf internationale Einheiten umzurechnen. Mit Hilfe der Dispersionskurve war es mir möglich, leicht in jedem Spektrum eine Anzahl von Linien als Normalen aufzufinden. Mit den so erhaltenen Normalen berechnete ich dann die übrigen Linien, und zwar benutzte ich zur Umrechnung der Schraubenablesungen in Wellenlängen die von J. Hartmann[7]) angegebene Formel:

$$\lambda = \lambda_0 + \left(\frac{c}{s + s_0}\right)^{\frac{1}{\alpha}}.$$

Hier bedeuten $\lambda_0$, $c$, $s_0$ und $\alpha$ Konstanten. Bei dem hier benutzten Quarzprisma hat $\alpha$ den Wert 1,5, im Gegensatz zu den meist angewandten Werten 1 und 1,2. Hat man $\alpha$ einmal gewählt, so müssen die anderen Konstanten unter Zuhilfenahme dreier Normalen berechnet werden. Was den Gang des Rechnungsverfahrens angeht, so verweise ich auf die oben erwähnte Arbeit in der Festschrift.[8])

Man findet dort eine genaue Berechnung, durchgeführt am Spektrum des Kupfers. Ich habe für Silber, Kupfer und Magnesium die Konstanten neu berechnet, dann aber die für Magnesium gefundenen Konstanten weiter benutzt zur Berechnung der übrigen Spektra Ich brauchte nur $s_0$ passend zu verändern. Zu jedem Spektrum werde ich die benutzten Konstanten hinzufügen. An einem Beispiel werde ich zeigen, daß die mit Hilfe der Hartmannschen Formel berechneten Linien mit den bereits vorhandenen Messungen sehr gut übereinstimmen. Die Linien stammen aus dem Spektrum des Magnesiums. In der folgenden Tabelle findet man in der ersten Spalte unter $R'$ die vier Ablesungen, in der zweiten unter $R$ das Mittel aus diesen vier Einstellungen, in der dritten unter „$\lambda$ berechnet" die mit Hilfe der Formel aus diesen Ablesungen berechneten Wellenlängen und in der vierten unter E. u. H. die von Exner und Haschek gegebenen. Hinzugefügt ist noch der Ursprung und die Intensität der Linien. Die Tabelle zeigt deutlich, daß der Anschluß an die Messungen von Exner und Haschek ein sehr guter zu nennen ist. Ich ermittelte zuerst die Konstanten der Formel roh aus den Kupferlinien 3274 mit der Ablesung 141,037, Linie 3247 mit der Ablesung 139,706 und aus der Magnesiumlinie 2778 mit der Ablesung 109,189. Sie ergaben die Werte: $s_0 = -231,180$, $\lambda_0 = 560$ und $\log(-c) = 7,1053669$. Mit diesen Werten berechnete ich dann einige sehr scharfe Eisenlinien und aus diesen dann wiederum die endgültigen Konstanten. Als Normalen dienten mir die Eisenlinien 2611,98, 2549,70, 2395,72 mit den Ablesungen 94,047, 87,556 und 69,096. Die neuen Konstanten erhielten die Werte: $\lambda_0 = 562,5$, $s_0 = -231099$ und $\log(-c) = 7,1043450$. Mit diesen sind die folgenden Wellenlängen ermittelt.

Tabelle 1.

| $R'$ | $R$ | $\lambda$ ber. | E. u. H. | Urspr. | Int. |
|---|---|---|---|---|---|
| 86,621<br>613<br>612<br>613 | 86,615 | 2541,09 | 2541,07 | Fe | 2 |
| 86,026<br>028<br>026<br>028 | 86,027 | 2535,68 | 2535,68 | Fe | 3 |
| 85,312<br>308<br>299<br>308 | 85,307 | 2529,21 | 2529,20 | Fe | 1 |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| $R'$ | $R$ | λ ber. | E. u. H. | Urspr. | Int. |
|---|---|---|---|---|---|
| 85,241<br>236<br>232<br>245 | 85,239 | 2528,60 | 2528,60 | Si | 10 |
| 84,765<br>752<br>751<br>757 | 84,756 | 2526,97 | — | — | — |
| 84,610<br>603<br>603<br>607 | 84,606 | 2522,94 | 2522,94 | Fe | 10 |
| 84,204<br>196<br>198<br>201 | 84,199 | 2519,31 | 2519,30 | Si | 8 |
| 84,077<br>069<br>068<br>071 | 84,071 | 2518,17 | 2518,20 | Fe | 3 |
| 83,856<br>844<br>847<br>847 | 83,848 | 2516,20 | 2516,20 | Si | 15 |
| 83,654<br>647<br>640<br>647 | 83,647 | 2514,43 | 2514,43 | Si | 8 |
| 83,255<br>246<br>244<br>246 | 83,248 | 2510,91 | 2510,92 | Fe | 3 |
| 82,806<br>797<br>796<br>795 | 82,799 | 2506,98 | 2507,01 | Si | 10 |
| 82,146<br>139<br>134<br>137 | 82,139 | 2501,23 | 2501,23 | Fe | 3 |
| 80,822<br>813<br>815<br>817 | 80,817 | 2489,86 | 2489,89 | Fe | 3 |
| 80,634<br>627<br>627<br>629 | 80,629 | 2488,24 | 2488,24 | Fe | 10 |
| 80,174<br>159<br>163<br>165 | 80,165 | 2484,29 | 2484,29 | Fe | 3 |
| 80,063<br>057<br>057<br>053 | 80,058 | 2483,37 | 2483,36 | Fe | 8 |

Zur Ermittelung der Intensitäten standen mir zwei Wege offen. Ich konnte einmal durch mikroskopische, okulare Betrachtung die Intensitäten der Linien abschätzen. Dann aber konnte ich von den direkten Aufnahmen Vergrößerungen anfertigen und an diesen meine Beobachtungen machen. Ich habe den letzten Weg vorgezogen. Denn es war mir so möglich, ein großes Stück des Spektrums gleichzeitig zu übersehen und durch Vergleichen der einzelnen Linien untereinander meine Angaben zu machen. Etwaige Änderungen der relativen Intensität bei den Reproduktionen kommen nicht in Frage, da die Schätzungen an sich ungenau sind. Ich will zum Vergleich bemerken, daß Exner und Haschek die Intensitäten an projizierten Bildern ermittelt haben. Als Intensitätsskala habe ich etwa die von Exner und Haschek benutzt, die ganz aus der Reihe fallenden großen Zahlen jedoch ausgeschlossen.

Bei den nun folgenden Tabellen finden sich in der ersten Spalte die Serienbezeichnungen, wie sie von Dunz[9]) in seiner Dissertation angegeben sind. Die vorhandenen Kombinationslinien werde ich durch $C$ bezeichnen. In der zweiten und dritten Spalte finden sich die Bogenmessungen von Kayser und Runge und die von Exner und Haschek, in der vierten die Funkenlinien, gemessen von den beiden letzteren Beobachtern. In der fünften und sechsten gebe ich meine eigenen Messungen wieder, einmal die Wellenlängen in Rowlandschen Einheiten, das andere Mal der Vollständigkeit halber in Internationalen Einheiten. Zu jeder Linie füge ich die Intensitätsbezeichnung und Angabe der Beschaffenheit hinzu. Die benutzten Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie in Kaysers Handbuch. Die bereits vorhandenen Messungen nehme ich aus Kaysers Handbuch, Band 5 und 6.

Tabelle 2.

Silber, Ag.

Verunreinigungen: Cu, Mg, Fe, Bi, Sn, Pb.

Konstanten der Formel: $\lambda_0 = 560{,}63$, $s_0 = 25{,}601$
$\log c = 7{,}1032794$

| Serie | Bogen | | Funken | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K. u. R. | E. u. H. | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| | — | — | 2983,65 | 1 | 2983,63 | 1 | 2983,51 |
| | — | — | — | | 76,40 | 1 | 76,28 |
| | — | — | 57,6 | 1 | — | | — |
| | — | — | 43,75 | 1 | — | | — |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Bogen | | | | Funken | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| 2938,42 | 6u | — | | 2938,66 | 6 | 2938,67 | 3 | 2938,56 |
| — | | — | | 34,35 | 20 | 34,33 | 2 | 34,22 |
| — | | — | | 29,48 | 10 | 29,48 | 4 | 29,37 |
| — | | — | | — | | 25,52 | 1 | 25,41 |
| — | | — | | 20,18 | 5 | — | | — |
| — | | — | | 17,05 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 02,20 | 10 | 02,25 | 1 | 02,14 |
| — | | — | | 2896,61 | 10 | 2896,58 | 1 | 2896,47 |
| — | | — | | 82,3 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 81,70 | 1 | 81,59 |
| — | | — | | 78,90 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 78,06 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 73,73 | 10 | 73,68 | 2 | 73,57 |
| — | | — | | 70,85 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 62,3 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 57,4 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 52,7 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 49,6 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 44,1 | 1 | — | | — |
| — | | | | 37,87 | 1 | — | | - |
| — | | — | | 34,52 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 29,3 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 27,3 | 1 | — | | — |
| 2824,50 | 8u | 2824,5 | 2u | — | | 24,53 | 6u | 24,42 |
| — | | — | | 23,97 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 21,2 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 15,68 | 10 | 15,68 | 1u | 15,57 |
| — | | — | | 2799,80 | 20 | 2799,76 | 2 | 2799,66 |
| — | | — | | 86,60 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 67,64 | 50 | 67,70 | 6 | 67,60 |
| — | | — | | 56,58 | 20 | 56,51 | 2 | 56,41 |
| — | | — | | — | | 49,47 | 1 | 49,37 |
| — | | — | | 44,02 | 6 | 44,07 | 2 | 43,97 |
| 2721,84 | 4 | 2721,85 | 2 | 2721,86 | 3 | 21,89 | 5 | 21,79 |
| — | | — | | 17,38 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 16,27 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 12,17 | 30r | 12,16 | 3 | 12,06 |
| — | | — | | 11,31 | 8 | — | | — |
| — | | — | | 08,53 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 05,57 | 1u | 05,47 |
| — | | — | | 2688,49 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 84,97 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 81,48 | 15 | 2681,39 | 1 | 2681,29 |
| — | | — | | 76,75 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 75,94 | 1 | 75,84 |
| — | | — | | 60,59 | 20 | 60,63 | | 60,53 |
| — | | — | | 57,88 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 56,94 | 10 | 56,84 | 1 | 56,74 |
| — | | — | | 43,67 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 37,98 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 37,63 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 28,70 | 4 | 28,68 | 1u | 28,58 |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Bogen | | | Funken | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| — | | — | 2625,80 | 3 | — | | — |
| — | | — | 20,90 | 1 | — | | — |
| — | | — | 19,17 | 1 | — | | — |
| — | | — | 17,21 | 1 | — | | — |
| — | | — | 14,65 | 1 | — | | — |
| — | | — | 06,33 | 10 | 2606,20 | 1 u | 2606,11 |
| — | | — | 2598,6 | 1 | — | | — |
| — | | — | 95,76 | 3 | 2595,67 | 2 u | 2595,58 |
| — | | — | 86,30 | 1 | — | | — |
| — | | — | 84,30 | 1 | — | | — |
| — | | — | 80,86 | 20 | 80,86 | 2 | 80,77 |
| 2575,70 | 6 u | — | 75,8 | 1 u | 75,84 | 3 u | 75,75 |
| — | | — | 67,28 | 2 | 67,20 | 1 | 67,11 |
| — | | — | 64,50 | 5 | 64,51 | 1 u | 64,42 |
| — | | — | 63,02 | 5 | — | | — |
| — | | — | 62,64 | 4 | 62,61 | 1 | 62,52 |
| — | | — | 57,6 | 1 u | — | | — |
| — | | — | 53,52 | 2 | 53,54 | 1 | 53,45 |
| — | | — | 39,47 | 1 | — | | — |
| — | | — | 37,92 | 1 | — | | — |
| — | | — | 35,39 | 10 | 35,45 | 3 | 35,36 |
| — | | — | 32,8 | 1 | — | | — |
| — | | — | 30,6 | 1 | — | | — |
| — | | — | 21,28 | 1 | — | | — |
| — | | — | 09,23 | 1 | — | | — |
| — | | — | 07,39 | 2 | — | | — |
| — | | — | 06,72 | 10 | 06,75 | 3 | 06,66 |
| — | | — | 04,20 | 6 | 04,15 | 1 | 04,06 |
| — | | — | 04,87 | 1 | — | | — |
| — | | — | — | | 2493,27 | 1 | 2493,18 |
| — | | — | — | | 92,24 | 1 | 92,15 |
| — | | — | 2486,73 | 2 | — | | — |
| — | | — | 85,87 | 4 | 85,87 | 1 | 85,78 |
| — | | — | 80,50 | 10 | 80,45 | 2 | 80,36 |
| — | | — | 79,40 | 1 | — | | — |
| — | | — | 77,34 | 15 | 77,36 | 1 | 77,27 |
| — | | — | 76,83 | 1 | — | | — |
| — | | — | 76,30 | 1 | — | | — |
| — | | — | 73,92 | 20 | 74,02 | 6 | 73,94 |
| — | | — | 73,00 | 3 | 73,02 | .1 | 72,94 |
| — | | — | 71,44 | 1 | — | | — |
| — | | — | 69,67 | 3 | — | | — |
| — | | — | 66,47 | 1 | — | | — |
| — | | — | 64,05 | 1 | — | | — |
| — | | — | 62,34 | 10 | 62,30 | 1 | 62,22 |
| — | | — | 61,36 | 1 | — | | — |
| — | | — | 60,40 | 10 | 60,34 | 1 | 60,26 |
| — | | — | 57,72 | 1 | — | | — |
| — | | — | — | | 56,86 | 2 | 56,78 |
| — | | — | 53,39 | 20 | 53,31 | 2 | 53,23 |
| — | | — | 50,49 | 1 | — | | — |
| 2447,94 | 2 | — | 48,01 | 20 | 47,99 | 7 | 47,91 |
| — | | — | 46,42 | 5 | — | | — |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Bogen | | | | Funken | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| — | | — | | 2445,64 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 44,30 | 8 | 2444,35 | 1 | 2444,27 |
| 2437,84 | 4 | 2437,83 | 1 | 37,89 | 30 | 37,87 | 10 | 37,79 |
| — | | — | | 36,70 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 29,73 | 20 | 29,70 | 2 | 29,62 |
| — | | — | | 28,29 | 3 | — | | — |
| — | | — | | 22,70 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 20,19 | 10 | 20,18 | | 20,10 |
| — | | — | | 14,91 | 1 | — | | — |
| 13,26 | | — | | 13,31 | 20 | 13,29 | 5 | 13,21 |
| — | | — | | 11,49 | 15 | 11,46 | 2 | 11,38 |
| — | | — | | 10,20 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 09,09 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 06,68 | 1 | 06,60 |
| — | | — | | 05,08 | 3r | — | | — |
| — | | — | | 02,68 | 3 | 02,60 | 1 | 02,52 |
| — | | — | | 2397,74 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 95,76 | 3 | 2395,75 | 1 | 2395,67 |
| — | | — | | 93,06 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 90,66 | 5 | 90,66 | 1 | 90,58 |
| — | | — | | 86,91 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 83,25 | 2 | 83,26 | 1 | 83,18 |
| — | | — | | — | | 82,12 | 1 | 82,04 |
| — | | — | | 80,2 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 79,8 | 1 | — | | — |
| 2375,1 | 10U | 2374,75 | 2u | 75,0 | 2u | 74,98 | 20u | 74,90 |
| — | | 73,20 | 1 | 73,79 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 65,77 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 64,09 | 5 | 64,05 | 1 | 63,97 |
| — | | — | | 62,28 | 4 | 62,25 | 1 | 62,17 |
| — | | — | | 58,95 | 6r | 58,94 | 1 | 58,86 |
| — | | — | | 58,00 | 8 | 58,05 | 3 | 57,97 |
| — | | — | | 43,85 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 42,00 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 39,25 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 33,80 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 32,37 | 2 | — | | — |
| 31,41 | 4 | — | | 31,48 | 10 | 31,45 | 3 | 31,37 |
| — | | — | | 25,20 | 6 | — | | — |
| 24,73 | 4 | — | | 24,76 | 6 | 24,80 | 3 | 24,72 |
| — | | — | | 21,64 | 2 | — | | — |
| 20,31 | 4 | — | | 20,37 | 10 | 20,39 | 3 | 20,31 |
| — | | — | | 18,60 | 2 | — | | — |
| 17,10 | 3 | — | | 17,13 | 8 | 17,16 | 2 | 17,08 |
| — | | — | | 15,40 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 14,8 | 1u | — | | — |
| 12,5 | 8U | — | | 12,5 | 1u | — | | — |
| 09,74 | 10R | 09,61 | 3 | 09,7 | 3 | 09,71 | 5u | 09,63 |
| — | | — | | 2296,15 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 91,17 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 86,57 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 82,74 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 80, | 4 | 2280,14 | 3u | 2280,07 |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Bogen | | | Funken | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| — | | — | 2277,50 | 2 | 2277,44 | I | 2277,37 |
| — | | — | 75,39 | 2 | 75,34 | I | 75,27 |
| — | | — | 74,23 | I | — | | — |
| — | | — | 73,37 | I | — | | — |
| — | | — | 57,48 | I | — | | — |
| — | | — | 53,52 | 2 | 53,54 | I u | 53,47 |
| — | | — | 50,33 | I | — | | — |
| 2248,79 | 4 | — | 48,81 | 2 | 48,84 | 3 u | 48,77 |
| 46,46 | 4 | — | 46,50 | 4 | 46,52 | 4 u | 46,45 |
| — | | — | 43,6 | I u | — | | — |
| — | | — | 41,87 | I | — | | — |
| — | | — | 41,42 | I | — | | — |
| — | | — | 40,50 | 2 | — | | — |
| — | | — | 38,47 | 2 | — | | — |
| — | | — | 33,80 | I | — | | — |
| — | | — | 29,65 | 3 | 29,65 | 2 | 29,58 |
| — | | — | 26,25 | 2 | — | | — |
| — | | — | 23,15 | I | — | | — |
| — | | — | 19,75 | 2 | — | | — |
| — | | — | 18,93 | 3 | — | | — |
| — | | — | 11,25 | 2 | — | | — |
| — | | — | 08,58 | 2 | — | | — |
| — | | — | — | | 08,20 | I | 08,13 |
| — | | — | — | | 07,48 | I | 07,41 |
| — | | — | — | | 06,67 | I | 06,60 |
| — | | — | 06,02 | 2 | — | | — |
| — | | — | — | | 05,84 | I | 05,77 |
| — | | — | 04,50 | I | — | | — |
| — | | — | 03,71 | I | 03,66 | I | 03,59 |
| — | | — | 02,18 | 2 | 02,17 | 2 u | 02,10 |
| — | | — | 2197,27 | I | — | | — |
| — | | — | 96,33 | I | — | | — |
| — | | — | — | | 2192,43 | I u | 2192,36 |
| — | | — | 91,97 | I | — | | — |
| — | | — | 86,88 | 2 | 86,89 | 2 | 86,82 |
| — | | — | — | | 81,80 | I u | 81,73 |
| — | | — | — | | 79,04 | I u | 78,97 |
| — | | — | 73,64 | I | — | | — |
| — | | — | 71,85 | I | — | | — |
| — | | — | 71,05 | I u | — | | — |
| — | | — | 69,73 | I | — | | — |
| — | | — | 66,65 | 4 | 66,67 | 2 | 66,60 |
| — | | — | 66,13 | I | — | | — |
| — | | — | — | | 65,21 | I u | 65,14 |
| — | | — | 62,03 | 2 | — | | — |
| — | | — | 49,38 | I | — | | — |
| — | | — | 45,75 | 2 | 45,73 | I | 45,67 |
| — | | — | 29,17 | I | — | | — |
| — | | — | 25,54 | I | — | | — |
| — | | — | 21,02 | I | — | | — |
| — | | — | 20,51 | 2 | 20,54 | I | 20,48 |
| — | | — | 13,90 | 2 | 13,93 | 2 | 13,87 |
| — | | — | 06,77 | I | — | | — |

Es ist hier ein starkes Auftreten von Funkenlinien im Bogen zu verzeichnen. Daß das Prismenspektrum für Untersuchungen im ultravioletten Teil dem Gitterspektrum überlegen ist, zeigt schon diese Tabelle. Finde ich doch im Bogen eine bedeutend größere Anzahl von Linien als die früheren Beobachter. Diese Zahl würde noch gesteigert werden können, falls man eine größere Belichtungszeit[10]) anwenden würde. Denn alle Funkenlinien mit der Intensität 3 und höher treten noch deutlich auf, und bei noch längerer Einwirkung des Lichtes auf die Platte würden auch ohne Zweifel die schwächeren Linien noch erscheinen, so daß sie roh gemessen werden könnten. Ein Versuch nach dieser Richtung würde sich jedenfalls lohnen. Es hat also den Anschein, daß wenigstens bei Silber ein quantitativer Unterschied zwischen Bogen und Funkenspektrum nicht besteht. Die Intensität der Linien und ihr Aussehen ist allerdings verschieden. Die Mehrzahl der vorhandenen Linien sind Pollinien, sie sind an den Rändern des Spektrums sehr intensiv und stark verbreitert. Besonders am negativen Pol tritt diese Intensitätssteigerung hervor. Gut ausgeprägt ist die Erscheinung bei den Linien 2472, 2448, 2437, 2413, 2411, 2331, 2324, 2320, 2317, 2280, 2248, 2246 u. a. Die Linie 2375 ist sehr breit und intensiv, nach beiden Seiten stark unscharf. Umkehrungen waren nicht vorhanden. In der oben erwähnten Arbeit von Koenemann findet man eine Abbildung des Silberspektrums etwa von $\lambda = 2400$ bis $\lambda = 2300$. Auch ist dort die Intensitätsverteilung genauer untersucht. In anderen Elementen treten ebenfalls stärkere Funkenlinien im Bogen auf, die bisher im Bogen nicht gemessen sind. Ich werde an den betreffenden Stellen darauf hinweisen.

Das Suchen nach Kombinationslinien mußte erfolglos bleiben, weil die Grenzen der vorhandenen Serien nicht weit genug ins ultraviolette Gebiet hineinragten. Auffällig ist das gänzliche Fehlen von Serien in dem gemessenen Teil des Spektrums. Nun ist das Charakteristische bei der II. Nebenserie z. B. das Auftreten von konstanten Schwingungsdifferenzen. Ich versuchte also, durch Bildung derartiger Differenzen Anhaltspunkte zu gewinnen. Es fand sich so die interessante Tatsache, daß die bei der bisher vorhandenen II. Nebenserie mit den Grenzen 30621,6 und 31542,2 auftretende Schwingungsdifferenz $2p_2 - 2p_1 = 920{,}5$[11]) sich bis in den äußersten Teil des Spektrums weiter verfolgen läßt. Parallel läuft eine Schar von Paaren mit der konstanten Differenz 31. Ich gebe in der folgenden Tabelle die gefundenen Linienpaare wieder

und bemerke, daß ich die Reduktion der Schwingungszahlen auf Vakuum nach den Angaben von Watts[12]) vorgenommen habe. Es bedeutet $\lambda$ die Wellenlänge, $\nu$ die auf Vakuum reduzierte Schwingungszahl, $\Delta$ die auftretenden Differenzen der Linienpaare und $m$ die Ordnungszahl der Serienformel. Auch habe ich die Intensitäten hinzugefügt.

Tabelle 3.

| $\lambda$ | $I$ | $\nu$ | $\Delta$ |
|---|---|---|---|
| 2976 | 1 | 33587,9 | 925,6 |
| 2896 | 10 | 34513,5 | |
| 2675 | 1 | 37359,2 | 875,7 (?) |
| 2614 | 1 | 38234,9 | |
| 2567 | 2 | 38942,4 | 938,2 |
| 2506 | 10 | 39880,6 | |
| 2504,1 | 6 | 39911,0 | 926,3 |
| 2447 | 20 | 40837,3 | |
| 2464 | 1 | 40571,6 | 906,4 |
| 2410 | 2 | 41478,0 | |
| 2456 | 2 | 40690,4 | 918,9 |
| 2402 | 3 | 41609,3 | |
| 2444 | 8 | 40898,6 | 918,5 |
| 2390 | 5 | 41817,1 | |
| 2436 | 2 | 41026,9 | 920 |
| 2383 | 2 | 41946,9 | |
| 2414 | 1 | 41397,1 | 890,6 (?) |
| 2364 | 5 | 42287,7 | |
| 2411 | 15 | 41456,3 | 923 |
| 2358,9 | 6r | 42379,3 | |
| 2395 | 3 | 41728,2 | 923,9 |
| 2343 | 1 | 42652,1 | |
| 2390 | 5 | 41817,1 | 917,8 |
| 2333 | 1 | 42734,9 | |

Die Differenz 31 tritt auf bei folgenden Paaren:

Tabelle 4.

| $\lambda$ | $I$ | $\nu$ | $\Delta$ |
|---|---|---|---|
| 2506 | 3 | 39880,6 | 30,4 |
| 2504 | 1 | 39911,0 | |
| 2462 | 1 | 40600,4 | 32,4 |
| 2460 | 1 | 40632,8 | |
| 2446 | 5 | 40864,0 | 34,6 |
| 2444 | 8 | 40898,6 | |
| 2413 | 5 | 41424,9 | 31,4 |
| 2411 | 2 | 41456,3 | |
| 2382 | 1 | 41966,9 | 34,5 |
| 2380 | 1 | 42001,4 | |
| 2364 | 1 | 42287,7 | 32,1 |
| 2362 | 1 | 42319,8 | |

Tabelle 4 (Fortsetzung).

| λ | I | ν | Δ |
|---|---|---|---|
| 2208 | 1 | 45271,9 | 31,5 |
| 2206 | 1 | 45303,4 | |
| 2203 | 1 | 45365,1 | 30,6 |
| 2202 | 2u | 45395,7 | |
| 2166 | 2 | 46139,6 | 31,1 |
| 2165 | 1u | 46170,7 | |

Wie aus den Tabellen hervorgeht, ist der Intensitätsverlauf bei den Paaren ganz ungleichmäßig; es lassen sich also Schlüsse, die etwa vorhandene Gesetzmäßigkeiten betreffen, nicht ziehen. Man wird die Wiederkehr derselben Differenz als merkwürdige, erklärungsbedürftige Tatsache bezeichnen müssen. Trotzdem habe ich versucht, ob sich nicht einige Paare mit der Differenz 920 in eine der vorhandenen Serienformeln einfügen ließen. So habe ich die Konstanten der Formel von Kayser und Runge:

$$\frac{1}{\lambda} = A + \frac{B}{n^2} + \frac{C}{n^4}$$

berechnet aus den Linien 2675, 2504 und 2436. Sie ergaben die Werte: $A = 42731{,}2$, $B = -128708{,}5$ und $C = 403567{,}6$. Der Wert $A'$ für die Parallelreihe wurde berechnet aus Linie 2447. Es ergab sich $A' = 43658{,}7$. Die Resultate der Rechnung sind in den Tabellen 5 und 6 zusammengefaßt.

Tabelle 5.

| m | λ | I | ν berechnet | ν beob. |
|---|---|---|---|---|
| 4,5 | 2675 | 1 | 37359,2 | 37359,3 |
| 5,5 | 2567 | 2 | 38917,4 | 38942 |
| 6,5 | 2504 | 6 | 39911,0 | 39911,0 |
| 7,5 | 2464 | 1 | 40570,6 | 40571,6 |
| 8,5 | 2436 | 2 | 41027,1 | 41026,9 |
| 9,5 | 2414 | 1 | 41354,6 | 41397,1 |
| 10,5 | 2402 | 3 | 41597,0 | 41609,3 |
| 11,5 | 2390 | 5 | 41781,0 | 41817,1 |

Tabelle 6.

| m | λ | I | ν berechnet | ν beob. |
|---|---|---|---|---|
| 4,5 | 2614 | 1 | 38286,8 | 38234,8 |
| 5,5 | 2506 | 10 | 39844,9 | 39880,6 |
| 6,5 | 2447 | 20 | 40837,3 | 40837,3 |
| 7,5 | 2410 | 2 | 41498,1 | 41478,0 |
| 8,5 | 2383 | 2 | 41954,6 | 41946,9 |
| 9,5 | 2364 | 5 | 42282,1 | 42287,7 |
| 10,5 | — | — | 42524,5 | — |
| 11,5 | 2333 | 1 | 42708,5 | 42734,9 |

Falls wir es hier wirklich mit einer Serie zu tun hätten, so würde sie den Charakter einer zweiten Nebenserie haben. Gegen die Existenz einer solchen Serie sprechen aber die außerordentlich großen Abweichungen der berechneten Werte gegen die beobachteten. Auch ist der Intensitätsverlauf durchaus ungleichmäßig. Ich gebe daher die ganze Berechnung mit allem Vorbehalt wieder.

Tabelle 7.

Kupfer, Cu.

**Verunreinigungen: Ni, Tl, Sn, Fe, Mg.**

**Konstanten der Formel:** $s_0 = 41{,}508$, $\lambda_0 = 565{,}28$
$\log c = 7{,}1008999$

| Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| 3208,32 | 4 | 3208,30 | 4 | 3208,32 | 1 | 3208,30 | 3 | 3208,17 |
| 3194,17 | 4 | 3194,21 | 5 | 3194,22 | 2 | 3194,23 | 5 | 3194,10 |
| 75,81 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 69,73 | 4u | 69,80 | 2 | 69,77 | 1 | 69,75 | 2 | 69,62 |
| 60,09 | 2 | 60,40 | 1 | — | | — | | — |
| — | | 56,74 | 2 | — | | 56,69 | 2 | 56,56 |
| 51,67 | 2u | — | | — | | — | | — |
| 46,93 | 4u | 46,93 | 2 | 46,95 | 1 | 47,00 | 3 | 46,87 |
| 42,47 | 4u | 42,57 | 4 | 42,56 | 1 | 42,56 | 3 | 42,43 |
| 40,42 | 4u | 40,45 | 2 | 40,50 | 1 | 40,45 | 2 | 40,32 |
| 28,73 | 4u | 28,81 | 3 | 28,80 | 1 | 28,75 | 2 | 28,62 |
| 26,22 | 6u | 26,25 | 6 | 26,22 | 2 | 26,22 | 3 | 26,09 |
| — | | — | | — | | 22,50 | 1 | 22,38 |
| 20,53 | 2u | 20,58 | 1 | — | | — | | — |
| 16,48 | 4u | 16,45 | 2 | 16,45 | 1u | 16,42 | 1 | 16,30 |
| 13,59 | 2u | 13,6 | 1 | — | | — | | — |
| 08,64 | 6u | 08,70 | 8 | 08,79 | 3 | 08,72 | 3 | 08,60 |
| 3099,97 | 4u | 00,05 | 3 | 00,04 | 2 | 00,01 | 2 | 3099,89 |
| 94,07 | 2 | 3094,12 | 4 | 3094,11 | 1 | 3094,15 | 2 | 94,03 |
| — | | 88,25 | 1 | 88,20 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 82,12 | 1 | 82,00 |
| — | | — | | — | | 78,32 | 1 | 78,20 |
| 73,89 | 4 | 73,94 | 3 | 73,95 | 1 | 73,94 | 3 | 73,82 |
| 70,86 | 1u | — | | — | | 70,80 | 1u | 70,68 |
| 63,50 | 6 | 63,56 | 4 | 63,55 | 2 | 63,53 | 5 | 63,41 |
| 57,73 | 2 | — | | — | | 57,70 | 2 | 57,58 |
| 53,52 | 1u | — | | — | | — | | — |
| 52,73 | 1u | — | | — | | — | | — |
| 44,18 | 2u | — | | — | | 44,17 | 3 | 44,05 |
| 36,17 | 6 | 36,22 | 5 | 36,20 | 2 | 36,21 | 5 | 36,09 |
| 30,33 | 2u | — | | — | | 30,23 | 1 | 30,11 |
| — | | — | | — | | 27,59 | 1 | 27,47 |
| 25,07 | 2u | 25,15 | 1 | — | | 25,13 | 1 | 25,01 |
| 22,65 | 4u | 22,74 | 1 | 22,70 | 1u | 22,70 | 2 | 22,58 |
| 21,73 | 2u | 21,70 | 1 | 21,70 | 1u | 21,68 | 1u | 21,56 |
| 12,07 | 4u | — | | — | | 12,05 | 2u | 11,93 |
| 10,92 | 4 | 10,98 | 4 | 10,95 | 2 | 11,02 | 4 | 10,90 |

Tabelle 7 (Fortsetzung).

| Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| — | | 2998,50 | 1 | — | | — | | — |
| 2997,46 | 4 | 97,48 | 4 | 2997,47 | 1 | 2997,50 | 5 | 2997,38 |
| 91,91 | 2U | — | | — | | 91,85 | 2 | 91,73 |
| 86,10 | 4U | — | | — | | — | | — |
| 82,91 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 79,52 | 2U | 79,5 | 1u | — | | 79,54 | 1u | 79,42 |
| 78,42 | 2U | 78,4 | 1u | — | | 78,39 | 1u | 78,27 |
| 61,25 | 6R | 61,31 | 5 | 61,30 | 3 | 61,31 | 10 | 61,19 |
| 51,38 | 4u | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | — | | 45,52 | 1u | 45,41 |
| 25,65 | 2u | — | | — | | }25,2 | | |
| 24,99 | 1u | — | | — | | | | |
| — | | — | | — | | 23,14 | 1u | 23,03 |
| 11,29 | 2u | — | | — | | — | | — |
| 2891,77 | 2U | — | | — | | 2891,77 | 2R | 2891,66 |
| 90,97 | 2U | — | | — | | 91,08 | 2u | 90,97 |
| — | | — | | 2884,48 | 1 | — | | — |
| 83,03 | 4 | 2883,06 | 3 | 83,05 | 1 | 83,11 | 4 | 83,00 |
| 79,04 | 2U | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | 77,97 | 3 | 77,89 | 2 | 77,78 |
| 75,66 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 74,60 | 2U | — | | — | | 74,59 | 2R | 74,48 |
| — | | 58,85 | 1? | 58,4 | 1u | 58,47 | 2 | 58,36 |
| — | | — | | 58,0 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 37,68 | 2 | — | | — |
| — | | 24,50 | 4 | 24,49 | 4 | 24,53 | 6 | 24,42 |
| — | | — | | 13,10 | 1 | — | | — |
| 2792,07 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 86,65 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 83,67 | 2U | — | | — | | 2783,76 | 1 | 2783,66 |
| 82,73 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 69,37 | 1u | 2769,02 | 1 | 2769,95 | 8 | 69,93 | 2 | 69,83 |
| 68,94 | 4u | — | | — | | — | | — |
| 66,50 | 6Rr | 66,51 | 10 | 66,53 | 2 | 66,48 | 6 | 66,38 |
| — | | — | | — | | 63,74 | 1 | 63,64 |
| 51,86 | 1u | — | | — | | — | | — |
| 51,38 | 4U | 51,42 | 1 | — | | 51,43 | 2 | 51,33 |
| — | | — | | 45,52 | 2 | 45,53 | 1 | 45,43 |
| — | | — | | 40,0 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 37,6 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 32,27 | 1 | 32,17 |
| — | | — | | — | | 29,50 | 1 | 29,40 |
| 24,04 | 4U | — | | — | | 24,14 | 2 | 24,04 |
| — | | — | | 21,93 | 2 | 21,72 | 1u | 21,62 |
| — | | — | | — | | 20,58 | 1u | 20,48 |
| — | | — | | 19,02 | 6 | 19,06 | 7 | 18,96 |
| 15,67 | 4U | — | | — | | 15,62 | 1 | 15,52 |
| — | | — | | 13,76 | 8 | 13,80 | 2 | 13,70 |
| — | | — | | 03,42 | 5 | 03,48 | 1 | 03,38 |
| — | | — | | 01,21 | 8 | 01,21 | 1 | 01,11 |
| 2696,83 | 1u | — | | — | | 2696,95 | 1 | 2695,85 |
| — | | — | | 2689,56 | 8 | 89,50 | 3 | 89,40 |
| 87,85 | 1u | — | | — | | — | | — |

**Tabelle 7 (Fortsetzung).**

| Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| 2681,16 | 1u | — | | — | | — | | — |
| 76,59 | 2r | — | | — | | — | | — |
| 72,24 | 2U | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | 2666,52 | 3 | — | | — |
| 51,78 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 49,93 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 45,45 | 2U | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | 44,00 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 41,65 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 2638,43 | 1 | 2638,33 |
| 35,02 | 4U | — | | — | | 35,09 | 2 | 34,99 |
| — | | — | | — | | 32,52 | 1 | 32,42 |
| — | | — | | 30,87 | 1 | — | | — |
| 30,15 | 4U | — | | — | | 30,14 | 2 | 30,04 |
| 27,49 | 2U | — | | — | | 27,53 | 1u | 27,43 |
| 18,46 | 10R | 2618,46 | 5R | 18,50 | 3 | 18,48 | 10R | 18,39 |
| — | | — | | 09,39 | | — | | — |
| 05,08 | 1U | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | 00,49 | 5 | 00,46 | 1 | 00,37 |
| — | | — | | 2599,03 | 3 | 2598,95 | 1 | 2598,86 |
| — | | — | | — | | 97,18 | 1u | 97,09 |
| — | | — | | 90,75 | 3 | 90,75 | 1 | 90,66 |
| 2580,52 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 79,40 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 70,76 | 2u | — | | — | | — | | — |
| 69,99 | 2U | — | | — | | — | | — |
| 67,17 | 1u | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | 66,50 | 1 | — | | — |
| 63,54 | 2r | — | | — | | — | | — |
| 53,38 | 1r | — | | 53,33 | 1 | 53,35 | 2 | 53,26 |
| 47,67 | 2r | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | — | | 46,86 | 1u | 46,77 |
| — | | — | | 45,02 | 20 | 45,00 | 2 | 44,91 |
| — | | — | | 38,8 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 35,4 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 32,95 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 32,2 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 29,50 | 8 | 29,49 | 2 | 29,40 |
| — | | — | | 26,79 | 4 | 26,68 | 1 | 26,59 |
| — | | — | | 25,11 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 23,25 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 22,45 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 21,15 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 19,0 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 18,55 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 17,05 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 16,5 | 1u | — | | — |
| — | | — | | 11,50 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 08,7 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 06,51 | 10r | 06,43 | 1 | 06,34 |
| — | | — | | 2497,70 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 96,20 | 1 | — | | — |
| 2494,97 | 2 | — | | — | | — | | — |

Tabelle 7 (Fortsetzung).

| Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| 2492,22 | 6R | 2492,25 | 2 | 2492,24 | 2 | 2492,24 | 4R | 2492,15 |
| — | | — | | — | | 90,43 | 1 | 90,34 |
| — | | — | | 89,70 | 5 | 89,70 | 2 | 89,61 |
| — | | — | | 86,60 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 85,99 | 5 | — | | — |
| — | | — | | — | | 83,36 | 1 | 83,27 |
| — | | — | | 82,43 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 73,55 | 4 | 73,45 | 1 | 73,37 |
| — | | — | | 68,67 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 66,00 | 1 | — | | — |
| 2460,98 | 2u | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | 59,45 | 1 | — | | — |
| 58,97 | 3u | — | | 58,73 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 53,13 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 46,9 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 44,50 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 43,47 | 1 | — | | — |
| 41,72 | 6R | 41,75 | 1 | 41,70 | 2 | 41,75 | 4R | 41,67 |
| — | | — | | 35,95 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 30,5 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 29,10 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 25,02 | 1 | 24,94 |
| — | | — | | 24,62 | 2 | 24,61 | 1 | 24,53 |
| — | | — | | 12,39 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 12,18 | 1 | — | | — |
| 06,82 | 8r | 06,79 | 1 | — | | 06,78 | 3 | 06,70 |
| — | | — | | 05,54 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 03,51 | 6 | 03,47 | 1 | 03,39 |
| 00,18 | 4 | — | | 00,18 | 6 | 00,17 | 2 | 00,09 |
| 2392,71 | 8Rr | 2392,80 | 3 | 2392,72 | | 2392,72 | 5R | 2392,64 |
| — | | — | | 91,81 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 85,10 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 80,84 | 1 | 80,76 |
| — | | — | | 76,43 | 2 | 76,43 | 2 | 76,35 |
| — | | — | | 72,34 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 70,93 | 1 | — | | — |
| 69,97 | 6 | 69,96 | 1 | 69,94 | 10 | 69,95 | 3 | 69,87 |
| — | | — | | 68,20 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 67,55 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 64,3 | 1 | — | | — |
| 63,28 | 1 | — | | 63,3 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 61,67 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 59,54 | 1u | 59,46 |
| 56,68 | 4 | — | | 56,67 | 3 | 56,72 | 1 | 56,64 |
| — | | — | | 55,19 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 48,86 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 46,22 | 1 | — | | — |
| 45,59 | 2 | — | | — | | 45,62 | 2 | 45,54 |
| — | | — | | 36,30 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 23,20 | 1 | — | | — |
| 19,70 | 4u | 19,74 | 1 | — | | 19,68 | 1u | 19,60 |
| — | | — | | 09,71 | 1 | — | | — |
| 03,18 | 6 | 03,18 | 1 | — | | 03,17 | 3 | 03,10 |

Tabelle 7 (Fortsetzung).

| Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| 2294,44 | 2 | 2294,45 | 1 | 2294,45 | 4 | 2294,41 | 2 | 2294,34 |
| 93,92 | 10 R | 93,94 | 4 R | — | | 93,92 | 5 R | 93,85 |
| — | | — | | 92,79 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 91,20 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 86,80 | 2 | — | | — |
| 82,20 | 1 u | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | — | | 78,09 | 1 | 78,02 |
| 76,30 | 4 | 76,35 | 1 | 76,35 | 4 | 76,32 | 2 | 76,25 |
| — | | — | | 65,55 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 64,00 | 3 | — | | — |
| 63,20 | 6 R | 63,14 | 3 R | 63,40 | 2 | 63,14 | 2 R | 63,07 |
| 60,58 | 4 R | 60,58 | 1 | — | | 60,55 | 1 R | 60,48 |
| — | | — | | 55,13 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 49,12 | 2 | — | | — |
| 47,08 | 4 u | 47,09 | 1 | 47,06 | 8 R | 47,05 | 2 R | 46,98 |
| 44,36 | 1 | 44,34 | 1 | — | | 44,29 | 1 | 44,22 |
| 42,68 | 4 | 42,69 | 1 | 42,69 | 6 | 42,68 | 2 R | 42,61 |
| 40,89 | 1 u | — | | — | | — | | — |
| 38,52 | 2 R | 38,5 | 1 u | — | | 38,53 | 2 R | 38,46 |
| 36,40 | 1 R | 36,7 | 1 u | — | | 36,35 | 1 R | 36,28 |
| — | | — | | 31,74 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 31,10 | 1 | — | | — |
| 30,16 | 8 R | 30,16 | 2 R | 30,29 | 1 | 30,18 | 1 R | 30,11 |
| — | | — | | 30,01 | 1 | — | | — |
| 28,95 | 4 | 28,91 | 1 | 28,94 | 3 | 28,92 | 1 R | 28,85 |
| 27,85 | 8 R | 27,81 | 2 R | 27,86 | 1 R | 27,81 | 2 R | 27,74 |
| — | | — | | 26,95 | 2 | — | | — |
| 25,77 | 6 R | 25,78 | 1 R | 25,80 | 1 | 25,75 | 1 R | 25,68 |
| — | | — | | 24,95 | 2 | — | | — |
| — | | — | | 18,7 | 1 u | — | | — |
| 18,21 | 2 | 18,17 | 1 | 18,19 | 3 | 18,15 | 1 R | 18,08 |
| 15,78 | 6 R | 15,70 | 2 R | 15,28 | 2 | 15,75 | 1 R | 15,68 |
| 14,68 | 8 R | 14,67 | 2 R | — | | 14,65 | 1 R | 14,58 |
| — | | — | | 12,95 | 1 | — | | — |
| 10,35 | 2 | 10,35 | 1 | 10,35 | 3 | 10,32 | 1 | 10,25 |
| — | | — | | 09,94 | 1 | — | | — |
| — | | — | | — | | 07,35 | 1 | 07,28 |
| — | | — | | — | | 06,56 | 1 | 06,49 |
| — | | — | | — | | 05,60 | 1 | 05,53 |
| — | | — | | 01,65 | 1 | — | | — |
| 2199,77 | 8 R | 2199,70 | 2 R | 2199,98 | 1 | 2199,71 | 1 R | 2199,64 |
| — | | — | | 99,65 | 1 | — | | — |
| — | | — | | 95,87 | 2 | — | | — |
| 92,35 | 2 u | 92,35 | 1 | 92,35 | 3 | 92,30 | 1 R | 92,23 |
| 89,69 | 2 | 89,70 | 1 | 89,69 | 3 | 89,73 | 1 R | 89,66 |
| — | | — | | 82,88 | 1 | — | | — |
| 81,80 | 4 R | — | | — | | 81,80 | 1 R | 81,74 |
| 79,41 | 4 | 79,48 | 1 | 79,49 | 3 | 79,45 | 1 R | 79,39 |
| 78,97 | 6 R | — | | — | | — | | — |
| — | | — | | — | | 78,19 | 1 R | 78,13 |
| — | | — | | 75,13 | 2 | — | | — |
| 71,88 | 1 R | — | | — | | — | | — |
| 69,49 | 1 | — | | — | | 69,55 | 1 | 69,49 |

Tabelle 7 (Fortsetzung).

| Bogen | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K. u. R. | | E. u. H. | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| 2165,20 | 4 | — | 2165,14 | 1 | 2165,14 | 1 | 2165,08 |
| — | | — | 61,49 | 2 | — | | — |
| — | | — | 51,99 | 1 | — | | — |
| 49,05 | 2 | — | 49,08 | 2 | 49,11 | 1 | 49,05 |
| — | | — | 47,10 | 1 | — | | — |
| — | | — | — | | 38,60 | 1 | 38,54 |
| 36,05 | 2 | — | 36,08 | 3R | 36,09 | 1 | 36,03 |
| — | | — | 34,49 | 2 | — | | — |
| — | | — | — | | 30,93 | 1 | 30,87 |
| 26,11 | 2 | — | 26,12 | 2 | 26,14 | 2 | 26,08 |
| — | | — | 25,28 | 1 | — | | — |
| 23,06 | 2 | — | 23,08 | 2 | 23,07 | 1 | 23,01 |
| — | | — | 17,46 | 2 | — | | — |
| 12,19 | 1 | — | 12,19 | 2 | 12,15 | 1 | 12,09 |
| 04,88 | 1 | — | 04,89 | 1 | 04,92 | 1 | 04,86 |
| 2085,40 | 1 | — | — | | — | | — |
| 68,45 | 1 | — | — | | — | | — |
| 61,77 | 1 | — | — | | — | | — |
| 55,08 | 1 | — | — | | — | | — |
| 43,73 | 1 | — | — | | — | | — |
| 37,28 | 1 | — | — | | — | | — |
| 35,90 | 1 | — | — | | — | | — |
| 25,14 | 2R | — | — | | — | | — |
| 16,76 | 1 | — | — | | — | | — |
| 15,53 | 1 | — | — | | — | | — |
| 13,19 | 1 | — | — | | — | | — |
| 03,50 | 1 | — | — | | — | | — |
| 1999,68 | 1 | — | — | | — | | — |
| 95,16 | 1 | — | — | | — | | — |
| 89,24 | 1 | — | — | | — | | — |
| 79,26 | 1 | — | — | | — | | — |
| 71,99 | 1 | — | — | | — | | — |
| 56,83 | 1 | — | — | | — | | — |
| 43,88 | 1 | — | — | | — | | — |

Auch im Bogen des Kupfers konnte ich eine große Anzahl von Funkenlinien nachweisen. Die Intensitäten dieser Linien sind z. T. sehr klein. Die im Funken mit der Intensität 3 und mehr bezeichneten Linien treten fast ausnahmslos auf, so z. B. die Linien 2877, 2745, 2721, 2719, 2713, 2703, 2701, 2689, 2600, 2598, 2590, 2545, 2529, 2526, 2506, 2489, 2473, 2424, 2403 und 2376. Von 2350 ab abwärts waren auch bisher alle stärkeren Funkenlinien im Bogen nachgewiesen. Im allgemeinen gilt hier dasselbe, was ich bei Ag schon gesagt habe. Über die Intensitätsverteilung findet man das Nähere in der schon erwähnten Arbeit von Koenemann.

Zu den vorhandenen Kombinationen füge ich noch folgende 2 Linien hinzu.

| | $\nu$ ber. | $\nu$ beob. | $\lambda$ beob. |
|---|---|---|---|
| $x - 4\,d'$ | 42143,6 | 42140,0 | 2372 |
| $x - 5{,}5\,s$ | 45317,0 | 45325,3 | 2205 |

In analoger Weise wie bei Ag habe ich nach konstanten Schwingungsdifferenzen gesucht. Auch hier zeigte sich das Auftreten der für die II. Nebenserie mit den Grenzen 31523 und 31771 charakteristischen Differenz $2p_2 - 2p_1 = 248{,}1$. Ich gebe außerdem noch eine Reihe von Linienpaaren mit der konstanten Schwingungsdifferenz 79, eine zweite mit der Differenz 49 und eine dritte mit der Differenz 16.

Tabelle 8.

| $\lambda$ | $I$ | $\nu$ Vak. | $\Delta$ |
|---|---|---|---|
| 3147 | 3 | 31767,2 | 249,3 |
| 3122 | 1 | 32016,5 | |
| 3140 | 2 | 31833,5 | 245,5 |
| 3116 | 1 | 32079,0 | |
| 3094 | 2 | 32309,9 | 245 |
| 3070 | 1 u | 32554,9 | |
| 3053 | 1 u | 32739,7 | 251,7 |
| 3030 | 1 | 32991,4 | |
| 2982 | 2 | 33514,8 | 244,5 |
| 2961 | 10 | 33759,3 | |
| 2879 | 2 | 34723,8 | 246,6 |
| 2858 | 2 | 34970,4 | |
| 2782 | 2 | 35925,5 | 246,9 |
| 2763 | 1 | 36172,4 | |
| 2737 | 1 | 36517,7 | 249,0 |
| 2719 | 7 | 36766,7 | |
| 2732 | 1 | 36589,0 | 249,6 |
| 2713 | 2 | 36838,6 | |
| 2721 | 1 u | 36730,8 | 247,9 |
| 2703 | 1 | 36978,7 | |
| 2649 | 2 | 37725,8 | 249,5 |
| 2632 | 1 | 37975,3 | |
| 2597 | 1 u | 38492,1 | 248,5 |
| 2580 | 2 | 38740,6 | |
| 2532,9 | 1 u | 39468,2 | 249,3 |
| 2517 | 1 u | 39717,5 | |
| 2532,2 | 1 u | 39479,9 | 246,2 |
| 2516 | 1 u | 39726,1 | |
| 2522 | 1 | 39632,4 | 253,3 |
| 2506 | 1 | 39885,7 | |

Tabelle 8 (Fortsetzung).

| λ | I | ν Vak. | Δ |
|---|---|---|---|
| 2511 | 1 | 39805,2 | 244 |
| 2496 | 1 | 40049,2 | |
| 2497 | 1 | 40025,1 | 246,2 |
| 2482 | 2 | 40271,3 | |
| 2459 | 1 | 40647,6 | 248,6 |
| 2444 | 2 | 40896,2 | |
| 2385 | 1 | 41914,6 | 250,3 |
| 2370 | 1 | 42164,9 | |
| 2323 | 1 | 43031,3 | 251,5 |
| 2309 | 1 | 43282,8 | |
| 2291 | 2 | 43632,2 | 250,9 |
| 2278 | 1 | 43883,1 | |
| 2244 | 1 | 44543,8 | 250,8 |
| 2231 | 1 | 44794,6 | |
| 2240 | 1 u | 44611,4 | 239,8 |
| 2228 | 1 | 44851,2 | |
| 2227 | 2 R | 44873,5 | 244,2 |
| 2215 | 1 R | 45117,7 | |
| 2226 | 2 | 44890,9 | 249,3 |
| 2214 | 1 | 45140,2 | |
| 2218,7 | 1 | 45057,7 | 247,9 |
| 2206 | 1 | 45305,6 | |
| 2201 | 1 | 45406,6 | 247,2 |
| 2189 | 1 | 45653,8 | |
| 2134 | 2 | 46834,9 | 252,1 |
| 2123 | 2 | 47087,0 | |

## Tabelle 9.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3116 | 1 | 32079,0 | 79,4 |
| 3108 | 3 | 32158,4 | |
| 3078 | 1 | 32476,0 | 78,9 |
| 3070 | 1 u | 32554,9 | |
| 2891,08 | 2 u | 34579,3 | 79,0 |
| 2884 | 1 | 34658,3 | |
| 2751,4 | 2 | 36334,1 | 78,1 |
| 2745 | 1 | 36412,2 | |
| 2644 | 1 | 37810,5 | 79,8 |
| 2638 | 1 | 37890,3 | |
| 2516 | 1 u | 39726,1 | 79,1 |
| 2511 | 1 | 39805,2 | |
| 2380 | 1 | 41989,5 | 78,0 |
| 2376 | 2 | 42067,5 | |
| 2359 | 1 u | 42308,6 | 77,9 |
| 2355 | 2 | 42446,5 | |
| 2282 | 1 u | 43804,2 | 78,9 |
| 2278 | 1 | 43883,1 | |
| 2199 | 1 | 45446,6 | 79,5 |
| 2195 | 2 | 45526,1 | |
| 2134 | 2 | 46834,9 | 78,5 |
| 2130 | 1 | 46913,4 | |

## Tabelle 10.

| λ | I | ν Vak. | Δ |
|---|---|---|---|
| 3156 | 2 | 31669,6 | 50,5 |
| 3151 | 2u | 31720,1 | |
| 3113 | 1 | 32108,1 | 50,3 |
| 3108 | 3 | 32158,4 | |
| 2982 | 2U | 33514,8 | 50,7 |
| 2978 | 1u | 33565,5 | |
| 2883 | 4 | 34674,9 | 49,9 |
| 2879 | 2U | 34723,8 | |
| 2786 | 2U | 35875,0 | 50,5 |
| 2782 | 2U | 35925,5 | |
| 2638 | 1 | 37890,3 | 48,1 |
| 2635 | 2 | 37938,4 | |
| 2630,8 | 1 | 37999,1 | 48,8 |
| 2627 | 1u | 38047,9 | |
| 2535 | 1 | 39430,0 | 49,9 |
| 2532,2 | 1u | 39479,9 | |
| 2486 | 1 | 40203,8 | 52,4 |
| 2483 | 1 | 40256,2 | |
| 2370 | 1 | 42164,9 | 48,7 |
| 2368 | 1 | 42213,6 | |
| 2218,1 | 1R | 45068,9 | 48,8 |
| 2215 | 1R | 45117,7 | |
| 2181 | 1R | 45819,3 | 49,7 |
| 2179 | 1R | 45869,0 | |
| 2171 | 1R | 46029,0 | 49,4 |
| 2169 | 1 | 46078,3 | |
| 2125 | 1 | 47038,0 | 49,0 |
| 2123 | 1 | 47087,0 | |

## Tabelle 11.

| λ | I | ν Vak. | Δ |
|---|---|---|---|
| 2884 | 1 | 34658,3 | 16,6 |
| 2883 | 4 | 34674,9 | |
| 2721 | 1u | 36730,8 | 15,4 |
| 2720 | 1u | 36746,2 | |
| 2598,2 | 1 | 38476,5 | 15,6 |
| 2597 | 1u | 38492,1 | |
| 2580 | 2U | 38740,6 | 16,8 |
| 2579 | 2U | 38757,4 | |
| 2483 | 1 | 40256,2 | 15,1 |
| 2482 | 2 | 40271,3 | |
| 2444 | 2 | 40896,2 | 17,1 |
| 2443 | 1 | 40913,3 | |
| 2425 | 1 | 41214,9 | 16,7 |
| 2424 | 1 | 41231,6 | |
| 2392 | 5R | 41781,1 | 16,0 |
| 2391 | 1 | 41797,1 | |
| 2264 | 3 | 44156,3 | 16,8 |
| 2263 | 2R | 44173,1 | |
| 2225 | 1R | 44915,1 | 16,2 |
| 2224 | 2 | 44931,3 | |
| 2207 | 1 | 45289,4 | 16,2 |
| 2206 | 1 | 45305,6 | |
| 2178,9 | 6R | 45879,2 | 16,2 |
| 2178,1 | 1R | 45895,4 | |

Auch hier habe ich versucht, ob sich einige Paare in eine Serienformel einfügen ließen. Ich benutzte die Formel von Kayser und Runge. Es war gleichgültig, welche Formel ich wählte, da bekanntermaßen sich alle Formeln auf die ultravioletten Serien nicht anwenden lassen. Die Konstanten der ersten Reihe wurden berechnet aus den Linien 2732, 2497 und 2385. Sie ergaben die Werte $A = 46043,5$, $B = -131137,9$ und $C = 187667,1$. Für die zweite Reihe haben $B$ und $C$ dieselben Werte wie oben, während $A = 46293,1$ aus Linie 2713 berechnet wurde.

Tabelle 12.

I. Reihe.

| $m$ | $\lambda$ | $I$ | $\nu$ ber. | $\nu$ beob. |
|---|---|---|---|---|
| 3,5 | 2732 | 1 | 36589,0 | 36589,0 |
| 4,5 | 2497 | 1 | 40025,1 | 40025,1 |
| 5,5 | 2385 | 1 | 41914,6 | 41914,5 |
| 6,5 | 2323 | 1 | 43044,7 | 43031 |
| 7,5 | 2282 | 1 u | 43771,5 | 43804,2 |
| 8,5 | — | — | 44264,3 | — |
| 9,5 | 2240 | 1 u | 44613,4 | 44611,4 |
| 10,5 | 2227 | 1 R | 44869,5 | 44873,5 |
| 11,5 | 2218,7 | 1 u | 45062,7 | 45057,7 |
| 12,5 | 2210 | 3 (?) | 45211,9 | 45228,5 |
| 13,5 | 2205 | 1 | 45329,7 | 45325,3 |

Tabelle 13.

II. Reihe.

| $m$ | $\lambda$ | $I$ | $\nu$ ber. | $\nu$ beob. |
|---|---|---|---|---|
| 3,5 | 2713 | 8 | 36838,6 | 36838,6 |
| 4,5 | 2482 | 2 | 40274,7 | 40271,3 |
| 5,5 | 2370 | 1 | 42163,0 | 42164,9 |
| 6,5 | 2309 | 1 | 43294,3 | 43282,8 |
| 7,5 | — | — | 44021,1 | — |
| 8,5 | 2244 | 1 | 44513,9 | 44543,8 |
| 9,5 | 2228 | 3 | 44863,0 | 44851,2 |
| 10,5 | 2215 | 2 | 45119,0 | 45117,7 |
| 11,5 | 2206 | 1 | 45312,3 | 45305,6 |
| 12,5 | 2199 | 1 | 45461,5 | 45446,6 |
| 13,5 | 2192 (?) | 3 (?) | 45579,2 | 45600,3 |

Es muß hier dasselbe gesagt werden wie bei Ag. Auch bei dieser Serie ist die erzielte Übereinstimmung sehr schlecht und der Intensitätsverlauf durchaus ungleichmäßig. Ich gebe die ganze Berechnung mit allem Vorbehalt wieder und bemerke, daß lediglich die Wiederkehr derselben konstanten Differenz als erklärungsbedürftige Tatsache bestehen bleibt.

## Tabelle 14.
## Cadmium, Cd.

Verunreinigungen: Sn, Mg, Pb, Ni, Cu, Bi, Fe, C, Zn.
Konstanten der Formel: $\lambda_0 = 562{,}5$, $s_0 = -202{,}458$
$\log(-c) = 7{,}1043450$

| Serie | Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| C | 3261,17 | 10R | 3261,23 | 20R | 3261,21 | 5 | 3261,18 | 30u | 3261,04 |
| II. NS. I. 2,5 | 52,63 | 8r | 52,86 | 20r | 52,8 | 3r | 52,65 | 20u | 52,51 |
| | — | | — | | 50,51 | 10 | — | | — |
| | — | | — | | 36,85 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 21,67 | 1 | 21,70 | 1u | 21,57 |
| | — | | — | | 17,9 | 2u | — | | — |
| | — | | — | | 10,2 | 2u | — | | — |
| | — | | — | | 3197,9 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 85,68 | 3 | — | | — |
| | — | | — | | 78,68 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 76,9 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 74,56 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | 73,70 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | 61,99 | 3 | — | | — |
| | — | | — | | 61,0 | 1u | — | | — |
| | | | — | | 57,19 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | — | | 3154,80 | 1u | 3154,67 |
| | — | | — | | 53,3 | 1u | — | | — |
| II. NS. II. 2,5 | 3133,29 | 2r | 3133,47 | 20r | 33,50 | 3 | 33,42 | 15u | 33,29 |
| | — | | — | | 29,37 | 3 | — | | — |
| | — | | — | | 24,55 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | 21,95 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | 19,0 | 2u | — | | — |
| | — | | — | | 13,05 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 3095,70 | 3 | — | | — |
| | — | | — | | 92,45 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 89,3 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 88,55 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 85,10 | 3 | — | | — |
| II. NS. III. 2,5 | 3081,03 | 6r | 3081,11 | 10r | 81,1 | 2r | 3081,10 | 8r | 3080,98 |
| | — | | — | | 77,3 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 69,2 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 65,2 | 2u | — | | — |
| | — | | — | | — | | 63,85 | 2uv | 63,73 |
| | — | | — | | 59,4 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 53,3 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 49,0 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | — | | 39,67 | 4 | 39,55 |
| | — | | — | | 35,85 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 17,5 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 14,5 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 09,1 | 1u | — | | — |
| C | 05,53 | 1r | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 2996,25 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 87,4 | 1 | — | | — |
| I. NS. $(2p_1 - 4d'')$ | 2982,01 | 1 | — | | — | | — | | — |
| I. NS. $(2p_1 - 4d')$ | 81,46 | 4R | — | | — | | — | | |

**Tabelle 14 (Fortsetzung).**

| Serie | Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| I. NS. $(2p_1 - 4d)$ | 2980,75 | 8R | 2980,80 | 30u | 2980,8 | 3u | 2980,75 | 50u | 2980,63 |
| | — | | — | | 71,4 | 1u | — | | — |
| C | 61,64 | 4v | 61,4 | 1u | — | | 61,60 | 4v | 61,48 |
| | — | | — | | 52,0 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 48,3 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | — | | 32,71 | 1u | 32,60 |
| | — | | — | | 11,0 | 1u | — | | — |
| C | 08,85 | 1r | — | | — | | — | | — |
| C | 03,24 | 1U | — | | — | | — | | — |
| I. NS. $(2p_2 - 4d'')$ | 2881,34 | 4R | 2881,35 | 8r | 2881,0 | 3u | 2881,20 | 30u | — |
| I. NS. $(2p_2 - 4d')$ | 80,88 | 8R | 80,89 | 10r | — | | — | | — |
| II. NS. I. 3,5 | 68,35 | 1r | 68,40 | 2r | 68,5 | 1u | 68,36 | 1 | 2868,25 |
| C | 62,36 | 4v | — | | 62,0 | 2 | 62,41 | 2uv | 62,30 |
| I. NS. $(2p_3 - 4d'')$ | 37,01 | 8R | 37,05 | 10 | 37,2 | 2u | 37,03 | 20u | 36,92 |
| | — | | — | | 34,25 | 1 | — | | — |
| C | 18,66 | 2v | — | | 18,5 | 1 | 18,84 | 1uv | 18,73 |
| | — | | — | | 05,73 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | — | | 2780,27 | 1u | 2780,16 |
| II. NS. II. 3,5 | 2775,09 | 6r | 2775,20 | 2r | 2775,37 | 1u | 75,14 | 3ur | 75,04 |
| | — | | — | | 67,11 | 1 | — | | — |
| I. NS. $(2p_1 - 5d')$ | 64,29 | 2R | 64,2 | 3r | — | | 64,15 | 20u | |
| I. NS. $(2p_1 - 5d)$ | 63,99 | 6R | — | | — | | | | |
| C | — | | — | | — | | 56,88 | 3u | 56,78 |
| | — | | — | | — | | 54,01 | 1u | 53,91 |
| II. NS. $(1\mathfrak{P}_1 - 1{,}5\mathfrak{S})$ | 48,68 | 2r | 48,75 | 1 | 48,85 | 50 | 48,71 | 2 | 48,61 |
| II. NS. III. 3,5 | 33,97 | 4r | — | | — | | 33,94 | 4ur | 33,84 |
| | — | | — | | 27,2 | 1u | — | | — |
| II. NS. I. 4,5 | 12,65 | 6r | — | | — | | 12,70 | 3r | 12,60 |
| | — | | — | | 07,13 | 1 | — | | — |
| I. NS. $(2p_2 - 5d')$ | 2677,65 | 8d | 2677,8 | 2u | 2677,9 | 1u | 2677,74 | 10u | 2677,64 |
| C | 70,81 | 2 | — | | — | | 70,76 | 3u | 70,66 |
| | — | | — | | 68,3 | 1 | — | | — |
| I. NS. $(2p_1 - 6d)$ | 60,45 | 4r | — | | — | | 60,56 | 5r | 60,46 |
| | 57,10 | 4r | — | | — | | — | | — |
| | 54,65 | 1U | — | | — | | — | | — |
| I. NS. $(2p_3 - 5d'')$ | 39,63 | 6R | 39,6 | 1u | 39,7 | 1u | 39,56 | 5u | 39,46 |
| II. NS. I. 5,5 | 32,29 | 2r | — | | — | | 32,36 | 2u | 32,26 |
| II. NS. II. 4,5 | 29,15 | 4r | — | | — | | 29,14 | 2u | 29,04 |
| | — | | — | | 18,91 | 1 | — | | — |
| I. NS. $(2p_1 - 7d)$ | 01,99 | 2U | — | | — | | 02,28 | 1u | 02,19 |
| II. NS. III. 4,5 | 2592,14 | 2r | — | | 2592,3 | 1 | 2592,34 | 2ur | 2592,25 |
| C | — | | — | | — | | 84,97 | 1ur | 84,88 |
| II. NS. I. 6,5 | 82,86 | 1u | — | | — | | — | | — |
| I. NS. $(2p_2 - 6d')$ | 80,33 | 2U | — | | — | | 80,38 | 8 | 80,29 |
| | — | | — | | — | | 73,60 | 1 | 73,51 |
| II. NS. $(1\mathfrak{p}_2 - 1{,}5\mathfrak{s})$ | 73,12 | 4 | 2573,2 | 1 | 73,18 | 30 | 73,10 | 2u | 73,01 |
| | — | | — | | — | | 66,19 | 2u | 66,10 |
| | — | | — | | — | | 60,22 | 1 | 60,13 |
| II. NS. I. 7,5 | 53,61 | 4r | — | | — | | 53,66 | 2u | 53,57 |
| | — | | — | | 52,3 | 1u | 52,35 | 2u | 52,26 |
| | — | | — | | — | | 45,77 | 1u | 45,68 |
| I. NS. $(2p_3 - 6d'')$ | 44,84 | 2u | — | | — | | 44,78 | 5u | 44,69 |

Tabelle 14 (Fortsetzung).

| Serie | Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| | — | | — | | — | | 2540,17 | 1 u | 2540,08 |
| | — | | — | | — | | 28,66 | 1 | 28,57 |
| I. NS. ($2p_2 - 7d''$) | 2525,57 | 1 U | — | | — | | 25,52 | 4 u | 25,43 |
| II. NS. III. 5,5 | 21,74 | 1 U | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | — | | 18,87 | 1 u | 18,78 |
| II. NS. II. 6,5 | 07,93 | 1 U | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 2499,96 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | 95,75 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 88,04 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | — | | 2479,96 | 1 | 2479,87 |
| | — | | — | | — | | 78,53 | 1 u | 78,44 |
| II. NS. III. 6,5 | 2474,15 | 1 U | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | — | | 72,19 | 1 u | 72,11 |
| | — | | — | | 69,85 | 3 | — | | — |
| | — | | — | | 26,45 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | — | | 21,32 | 1 u | 21,24 |
| | — | | — | | — | | 19,33 | 2 u | 19,25 |
| | — | | — | | 18,78 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | 18,33 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | — | | 12,71 | 1 u | 12,63 |
| | — | | — | | — | | 2386,67 | 1 | 2386,59 |
| | — | | — | | 2376,91 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 75,0 | 1 u | — | | — |
| | — | | — | | — | | 60,74 | 1 u | 60,66 |
| | — | | — | | — | | 49,94 | 1 | 49,86 |
| | — | | — | | — | | 47,73 | 1 | 47,65 |
| | — | | — | | — | | 46,72 | 1 | 46,64 |
| | — | | — | | — | | 45,59 | 4 uv | 45,51 |
| | — | | — | | — | | 37,62 | 2 uv | 37,54 |
| | 2329,35 | 8 R | 2329,36 | 3 | 29,36 | 8 | 29,35 | 10 | 29,27 |
| | 21,23 | 1 | — | | 21,25 | 10 | — | | — |
| | — | | — | | — | | 15,89 | 2 | 15,81 |
| | 12,95 | 4 | 13,1 | 1 | 12,90 | 20 R | 12,98 | 3 | 12,90 |
| | 06,72 | 4 R | 06,71 | 2 | 06,72 | 3 | 06,69 | 5 | 06,61 |
| | 2288,10 | 10 R | — | | 2288,09 | 10 R | 2288,10 | 20 R | 2288,03 |
| | 67,53 | 4 R | 67,55 | 2 | 67,51 | 2 | 67,55 | 5 | 67,48 |
| | 65,13 | 4 R | 65,10 | 2 R | 65,11 | 10 R | 65,11 | 5 | 65,04 |
| | 62,36 | 1 | — | | — | | — | | — |
| | 39,93 | 6 R | 40,0 | 1 | 39,91 | 3 | 39,93 | 5 | 39,86 |
| | — | | — | | — | | 30,47 | 1 | 30,40 |
| | — | | — | | 24,51 | 2 | — | | — |
| | — | | — | | 09,8 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 04,4 | 1 | — | | — |
| | 2194,67 | 1 | — | | 2194,70 | 4 R | — | | — |
| | — | | — | | 87,89 | 1 | — | | — |
| | 70,11 | 1 | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 68,6 | 1 u | — | | — |
| | — | | — | | 55,1 | 1 | — | | — |
| | 44,45 | 4 R | — | | 44,50 | 4 R | 2144,45 | 4 R | 2144,39 |
| | — | | — | | 11,69 | 2 | — | | — |

Durch Untersuchung des Prismenspektrums war ich imstande, wie aus der Tabelle hervorgeht, eine große Anzahl bisher unbekannter Linien zu messen, darunter solche mit ziemlich bedeutender Intensität, wie etwa 2345, 2337 und 2315. Die von mir gemessene Linie 2881,20 ist die Doppellinie 2881 und 2880. Die Dispersion des benutzten Prismas war zu klein, als daß diese beiden Linien noch hätten getrennt werden können. Dasselbe ist zu sagen von der Linie 2764,15. Sie tritt auf als stark verbreiterte, sehr helle Linie. Linie 2288 spielt in diesem Spektrum eine besondere Rolle.[13]) Sie wird dem Cd zugerechnet, da mit ihrer Hilfe Kombinationslinien richtig gebildet werden; ferner gilt diese Linie als erstes Glied einer Haupt- und II. Nebenserie einfacher Linien bei Cd. Sie wurde von Paschen genauer untersucht[14]) und z. B. in Zn als scharfes magnetisches Triplet gefunden. Sie zeigte normale Aufspaltung vom Typus 3/2. Sie ist sehr breit und nach beiden Seiten diffus erweitert, umgekehrt und an den Polen fächerförmig erweitert.

Die zu jeder Ordnungszahl gehörenden Linien der I. Nebenserie bestehen aus 3 starken Linien, von denen die erste zwei, die zweite einen Trabanten hat. In der Tabelle habe ich die Bezeichnung von Dunz angewandt. Linie 2479 fügt sich ein in die zweite Reihe der II. Nebenserie. Es ist nämlich 41877,6 — 1557,7 = 46319,9, wo 41877,6 die Grenze der II. Nebenserie und 1557,7 der Term 7,5 $s$, berechnet aus der ersten Reihe dieser Serie, ist. Beobachtet wurde die auf Vakuum reduzierte Schwingungszahl 46311,3. In Wirklichkeit ist der Term 7,5 $s$ größer, so daß die Übereinstimmung wohl eine bessere wird. Linie 2584 läßt sich vielleicht als Kombination deuten; es ist $2p_3 - 5{,}5\,S = 38684{,}3$. Beobachtet ist $\nu = 38674{,}0$. Rydberg gibt zwei Paare von Linien einer II. Nebenserie. Sie haben konstante Schwingungsdifferenzen.

Es sind die Paare:

| $\lambda$ | $\nu$ | $\Delta$ |
|---|---|---|
| 2144 | 46617,6 | 2484,1 |
| 2265 | 44133,5 | |
| 2748 | 36379,8 | 2471,3[15]) |
| 2573 | 38851,1 | |

Dieselbe Schwingungsdifferenz tritt auf bei dem Paar:

| | | |
|---|---|---|
| 2230 | 44820,1 | 2473,1 |
| 2360 | 42347,0 | |

Die beiden ersten Paare, nebst 3535 und 3247 sind im magnetischen Feld genauer untersucht, und ihre Aufspaltung ist festgestellt. Es wäre interessant, dieses neue Paar zu prüfen und auf den Zeemaneffekt hin zu untersuchen. Das Triplet 2239, 2267 und 2329 mit den zugehörigen Schwingungsdifferenzen 542,9 und 1169,6 ist ähnlich gebaut wie die Triplets der Hauptserie. Die Schwingungsdifferenzen sind dort $2p_3 - 2p_2 = 541{,}8$ und $2p_2 - 2p_1 = 1171{,}0$. In die genannte Serie läßt sich dieses Triplet nicht einreihen. Zum Schluß gebe ich noch einige Paare mit konstanten Schwingungsdifferenzen. Ich bemerke hierzu, daß Paschen anders kombiniert. Er faßt Linie 2306 und 2288 zusammen und findet

2288
2306 $\Delta v = 352{,}7$

3261
3299 $\Delta v = 352{,}5$

Ich verweise auf seine Arbeit.[16])

Tabelle 15.

| λ | ν | Δ |
|---|---|---|
| 2265 | 44134,7 | 795 |
| 2306 | 43339,2 | |
| 2349 | 42541,8 | 797,4 |
| 2311 | 43253,1 | 335,5 |
| 2329 | 42917,6 | |
| 2347 | 42581,8 | 335,8 |
| 2306 | 43339,2 | 573,2 |
| 2337 | 42766,0 | |
| 2315 | 43167,1 | 567,1 |
| 2346 | 42600,0 | |
| 2329 | 42917,6 | 570,6 |
| 2360 | 42347,0 | |
| 2288 | 43691,2 | 1109,4 |
| 2347 | 42581,8 | |
| 2349 | 42541,8 | 1106,6 |
| 2412 | 41435,2 | |

## Tabelle 16.

## Thallium Tl.

**Verunreinigungen: Bi, Sn, Pb, Sb, Mg, Cu.**

**Konstanten der Formel:** $s_0 = -232,62$, $\lambda_0 = 562,5$
$\log(-c) = 7,1043450$

| Serie | | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| II. NS. I. 2,5 | | 3229,88 | 10R | 3229,89 | 20R | 3229,90 | 1 | 3229,84 | 15R | 3229,71 |
| | | — | | — | | 3091,88 | 2u | 3091,74 | 2u | 3091,62 |
| | | — | | — | | — | | 24,79 | 1u | 24,67 |
| | | — | | — | | — | | 20,98 | 1u | 20,86 |
| | C | 2978,05 | 1r | — | | — | | — | | — |
| | C | 45,15 | 4r | — | | — | | 2945,14 | 3ur | 2945,03 |
| I. NS. I. 4 | | 21,63 | 6R | 2921,66 | 20R | 2921,70 | 1u | 21,70 | 10R | 21,59 |
| I. NS. II. 4 | | 18,43 | 10R | 18,42 | 100R | 18,47 | 1u | 18,48 | 25R | 18,37 |
| | C | 2895,52 | 4v | 2895,5 | 1u | — | | 2895,60 | 2uv | 2895,49 |
| | C | — | | — | | — | | 43,38 | 1ur | 43,27 |
| II. NS. I. 3,5 | | 26,27 | 8R | 26,45 | 10 | — | | 26,37 | 10 | 26,26 |
| I. NS. III. 3 | | 2767,97 | 10R | 2767,96 | 20R | 2768,00 | 2R | 2767,99 | 30R | 2767,89 |
| | | — | | — | | — | | 37,26 | 1u | 37,16 |
| | C | — | | — | | — | | 19,20 | 1ur | 19,10 |
| I. NS. I. 5 | | 10,77 | 4R | 10,74 | 5R | — | | 10,80 | 4 | 10,70 |
| I. NS. II. 5 | | 09,33 | 8R | 09,33 | 20R | 09,3 | 1u | 09,38 | 15R | 09,28 |
| | C | 00,3 | 2U | 00,2 | 1u | — | | 00,30 | 3u | 00,20 |
| | | — | | — | | — | | 2670,05 | 1u | 2669,95 |
| | | — | | — | | — | | 71,20 | 2uv | 71,10 |
| II. NS. I. 4,5 | | 2665,67 | 2U | 2665,73 | 3 | 2665,8 | 1 | 65,74 | 3u | 65,64 |
| I. NS. I. 6 | | 09,86 | 4R | 09,83 | 2R | — | | 09,20 | | |
| I. NS. II. 6 | | 09,08 | 6R | 09,07 | 3R | — | | | | |
| II. NS. I. 5,5 | | 2585,68 | 4R | — | | — | | 2585,72 | 2ur | 2585,63 |
| II. NS. II. 2,5 | | 80,23 | 8R | 2580,25 | 3R | 2580,30 | 1 | 80,25 | 5R | 80,16 |
| | | — | | — | | — | | 77,76 | 1 | 77,67 |
| I. NS. I. 7 | | 53,07 | 2R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 7 | | 52,62 | 6R | — | | — | | 52,66 | 3u | 52,57 |
| II. NS. I. 6,5 | | 38,27 | 2R | — | | — | | 38,23 | 1u | 38,14 |
| | | — | | — | | — | | 32,80 | 1u | 32,71 |
| | | — | | — | | 30,94 | 2 | 30,89 | 1u | 30,80 |
| I. NS. II. 8 | | 17,50 | 4R | — | | — | | 17,56 | 2u | 17,47 |
| | | — | | — | | — | | 12,68 | 1u | 12,59 |
| II. NS. I. 7,5 | | 08,03 | 1R | — | | — | | 08,01 | 1u | 07,92 |
| I. NS. II. 9 | | 2494,00 | 2R | — | | — | | — | | — |
| II. NS. I. 8,5 | | 87,57 | 1R | — | | — | | — | | — |
| II. NS. I. 9,5 | | 72,65 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 11 | | 65,54 | 1R | — | | — | | — | | — |
| II. NS. I. 10,5 | | 62,01 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 12 | | 56,53 | 1R | — | | — | | — | | — |
| II. NS. I. 11,5 | | 53,87 | 1R | — | | — | | — | | — |
| | | — | | — | | 2452,02 | 1 | — | | — |
| I. NS. II. 13 | | 49,57 | 1R | — | | — | | — | | — |
| II. NS. I. 12,5 | | 47,59 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 14 | | 44,00 | 1R | — | | — | | — | | — |
| II. NS. I. 13,5 | | 42,24 | 1R | — | | — | | — | | — |
| | C | — | | — | | — | | 2440,00 | 1u | 2439,92 |
| I. NS. II. 15 | | 39,58 | 1R | — | | — | | — | | — |

Tabelle 16 (Fortsetzung).

| Serie | | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | — | | — | | — | | 2434,13 | 1 | 2434,05 | |
| | | — | | — | | — | | 17,09 | 2 | 17,01 | |
| | C | 2416,78 | 1r | — | | — | | — | | — | |
| I. NS. III. 4 | | 2379,66 | 8R | 2379,72 | 3R | — | | 2379,71 | 10R | 2379,63 | |
| | C | 62,16 | 2v | — | | — | | 62,25 | 3uv | 62,17 | |
| II. NS. II. 3,5 | | 16,01 | 6R | — | | — | | 16,10 | 4uv | 61,02 | |
| | | — | | — | | 2298,25 | 3 | 2298,23 | 2u | 2298,16 | |
| | C | — | | — | | — | | 38,54 | 1u | 38,47 | |
| I. NS. III. 5 | | 2237,91 | 6R | — | | — | | 37,93 | 1u | 37,86 | |
| | | 10,80 | 2R | — | | — | | 10,71 | 1u | 10,64 | |
| II. NS. II. 4,5 | | 07,13 | 4R | — | | — | | — | | — | [17] |
| I. NS. III. 6 | | 2168,68 | 4R | — | | — | | — | | — | |
| II. NS. II. 5,5 | | 52,08 | 1R | — | | — | | — | | — | |
| I. NS. III. 7 | | 29,39 | 1R | — | | — | | — | | — | |

Die Linien des Thalliums sind fast ohne Ausnahme sehr unscharf und zwar nimmt die Unschärfe zu, je weiter man zu kürzeren Wellenlängen fortschreitet; einige sind nach Rot, andere nach Violett abschattiert. Aus diesem Grunde sind auch die Abweichungen gegenüber den bisher vorhandenen Messungen etwas größer. Die Einstellung des Fadens auf die Mitten der Linien war schwer genau zu erreichen. Das Spektrum ist reich an Umkehrungen, wenngleich ich wegen der geringen Dispersion, die schmale Umkehrungen nicht auflöst, nicht so viele beobachten konnte, wie Kayser und Runge. Auch einige bisher unbekannte Linien konnte ich messen; allerdings dürften hier wegen der geringen Intensität der Linien und ihrer Unschärfe die Messungsfehler das gewöhnliche Maß überschreiten. Die beiden Linien 2609,86 und 2609,08 wurden von dem benutzten Prisma nicht mehr getrennt.

Die Linien des Thalliums lassen sich gut in ein System von Serien und Kombinationen einordnen. Zu den bekannten treten noch vier neue Kombinationen hinzu:

| $\lambda$ beob. | Komb. | $\nu$ ber. | $\nu$ beob. |
|---|---|---|---|
| 2238 | $2p_2 - 5d'$ | 44671,0 | 44658,5 |
| 2240 | $2p_1 - 15d$ | 40978,6 | 40971,5 |
| 2719 | $2p_1 - 5p_1$ | 36768,7 | 36764,8 |
| 2843 | $2p_2 - 3p_1$ | 35160,0 | 35159,4 |

## Tabelle 17.
## Calcium, Ca.

Verunreinigungen: Fe, Cu, Sn, Ni, Mg, Pb, Mn, Si, Zn.
Konstanten der Formel: $s_0 = -216{,}092$, $\lambda_0 = 562{,}5$
$\log(-c) = 7{,}1043450$

| Serie | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| II. NS. II. 4,5 | 3274,88 | 2r | 3274,95 | 1 | — | | 3274,96 | 1 | 3274,82 |
| II. NS. III. 4,5 | 69,31 | 2r | 69,37 | 1 | — | | 69,34 | 1 | 69,20 |
| I. NS. $(2p_1 - 7d)$ | 25,74 | 4v | 25,6 | 1u | — | | 25,61 | 4u | 25,48 |
| I. NS. $(2p_2 - 7d'')$ | 15,15 | 4v | 15,0 | 1u | — | | 15,09 | 3uv | 14,96 |
| I. NS. $(2p_3 - 7d')$ | 09,68 | 2v | — | | — | | 09,75 | 2u | 09,62 |
| II. NS. I. 5,5 | 3181,40 | 4 | 3181,43 | 3 | 3181,60 | 10R | 3181,39 | 2 | 3181,26 |
| | 79,45 | 6 | 79,50 | 15 | 79,51 | 50R | 79,47 | 5 | 79,34 |
| II. NS. II. 5,5 | 70,23 | 1u | — | | — | | 70,10 | 1u | 69,97 |
| II. NS. III. 5,5 | 66,95 | 1U | — | | — | | 66,98 | 1 | 66,85 |
| | 58,98 | 6 | 59,01 | 10 | 59,06 | 50R | 59,00 | 8 | 58,87 |
| I. NS. $(2p_1 - 8d)$ | 50,85 | 2u | — | | — | | 50,80 | 3u | 50,67 |
| I. NS. $(2p_2 - 8d'')$ | 40,91 | 2u | — | | — | | 40,89 | 2u | 40,76 |
| I. NS. $(2p_3 - 8d')$ | 36,09 | 1u | — | | — | | 36,07 | 1u | 35,94 |
| II. NS. I. 6,5 | 17,74 | 1U | — | | — | | 17,78 | 1u | 17,66 |
| II. NS. II. 6,5 | 07,96 | 1U | — | | — | | — | | — |
| II. NS. III. 6,5 | 01,87 | 1U | — | | — | | 01,86 | 1 | 01,74 |
| I. NS. $(2p_2 - 9d)$ | — | | | | — | | 3092,90 | 1u | 3092,78 |
| | — | | 3009,30 | 3 | 3009,30 | 2 | 09,30 | 3 | 09,18 |
| | 3006,95 | 4 | 06,97 | 4 | 06,94 | 3 | 06,97 | 4 | 06,85 |
| | — | | 00,96 | 2 | 00,97 | 2 | 00,95 | 2 | 00,83 |
| | 2999,76 | 4 | 2999,74 | 2 | 2999,75 | 1 | 2999,75 | 2 | 2999,63 |
| | 97,47 | 4 | 97,41 | 3 | 97,42 | 2 | 97,41 | 3 | 97,29 |
| | 95,06 | 4 | 95,06 | 3 | 95,06 | 2 | 95,05 | 3 | 94,93 |
| | — | | — | | — | | 2732,04 | 1u | 2731,94 |
| | — | | — | | — | | 2564,15 | 2 | 2564,06 |
| | — | | — | | — | | 59,83 | 1u | 59,74 |
| | — | | — | | — | | 40,97 | 1u | 40,88 |
| S. 2,5 | 2398,66 | 8R | 2398,66 | 1R | 2398,66 | 1R | 2398,68 | 1 | 2398,60 |
| | — | | — | | 73,27 | 1 | — | | — |
| S. 3,5 | 2275,60 | 6R | — | | — | | 2275,62 | 1u | 2275,55 |
| 2. NS. 1. 3,5 | — | | — | | 2208,9 | 1u | — | | — |
| S. 4,5 | 00,84 | 2R | — | | — | | 00,79 | 1u | 00,72 |

Was zunächst die Bezeichnung der Serienlinien angeht, so habe ich bei der I. Nebenserie die zu ihrer Bildung notwendigen Terme angegeben. Die Saundars Serie ist durch S gekennzeichnet. Linie 2208 ist die zu $m = 3{,}5$ gehörende Linie einer II. Nebenserie.

Wie die Tabelle zeigt, konnte ich — mit Ausnahme der Linie 3107 — die von den früheren Beobachtern gemachte Messung bestätigen. In dem Gebiet $\lambda = 2800$ bis $\lambda = 2400$, wo bisher Linien nicht gefunden wurden, konnte ich vier neue Linien messen und charakterisieren. Das Spektrum ist bei der hier benutzten Dispersion scheinbar gänzlich frei von Umkehrungen.

Die von mir gemessene Linie 3092 läßt sich leicht in das Serienschema der I. Nebenserie einordnen; sie entspricht dem Term $2p_2 - 9d$. Es wird berechnet 32335,5 und beobachtet ist 32322,7. Die große Differenz ist dem Umstand zuzuschreiben, daß der bei Dunz angegebene Term $9d$ nicht genau bekannt ist.

Die für die II. Nebenserie charakteristische Differenz der Schwingungszahlen ist $2p_3 - 2p_2 = 52{,}1$ und $2p_2 - 2p_1 = 105{,}9$. Dieselben Differenzen treten wieder auf bei folgenden Paaren:

| $\lambda$ | $I$ | $\nu$ Vak. | $\Delta$ |
|---|---|---|---|
| 3009 | 3 | 33220,7 | 105,9 |
| 2999 | 2 | 33326,6 | |
| 3006 | 4 | 33246,5 | 106,1 |
| 2997 | 3 | 33352,6 | |
| 2999 | 2 | 33326,6 | 52,3 |
| 2995 | 3 | 33378,9 | |

Es scheint das Triplet 3009, 2999 und 2995 ein Glied der II. Nebenserie zu sein; doch ließ sich nicht entscheiden, zu welcher Ordnungszahl es gehört, da diese Linien zu nahe an die Grenzen der Serie heranrücken. Außerdem konnte ich die Differenz 66 noch bei drei Paaren von Linien feststellen:

| $\lambda$ | $I$ | $\nu$ Vak. | $\Delta$ |
|---|---|---|---|
| 3006 | 4 | 33246,5 | 66,7 |
| 3000 | 2 | 33313,2 | |
| 3000 | 2 | 33313,2 | 65,7 |
| 2995 | 3 | 33378,9 | |
| 2564 | 2 | 38987,9 | 65,8 |
| 2559 | 1u | 39053,7 | |

Tabelle 18. Aluminium, Al.

Verunreinigungen: Cu, Fe, Mn, Mg, Sn, Zn, Ni, Si.

Konstanten der Formel: $s_0 = -242$, $\lambda_0 = 562{,}5$, $\log(-c) = 7{,}1043450$

| Serie | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I. NS. I. 3 | 3092,95 | 6 R | 3092,98 | 600 R | 3092,95 | 1 | 3092,92 | 100 R | |
| I. NS. II. 3 | 92,84 | 10 R | 92,87 | | 92,82 | 2 | | | |
| I. NS. III. 3 | 82,27 | 10 R | 82,30 | 500 R | 82,30 | 10 r | 3082,27 | 80 R | 3082,15 |
| | 66,28 | 6 | 66,28 | 3 | 66,40 | 1 | 66,40 | 4 | 66,28 |
| | 64,42 | 6 | 64,43 | 3 | 64,55 | 1 | 64,40 | 4 | 64,28 |
| | 60,04 | 6 | 60,04 | 1 | | | 60,02 | 1 | 59,90 |

Tabelle 18 (Fortsetzung).

| Serie | | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3057,26 | 6 | 3057,27 | 4 | 3057,40 | 2 | 3057,30 | 4 | 3057,18 |
| | | 54,81 | 6 | 54,81 | 3 | 54,90 | 1 | 54,82 | 4 | 54,70 |
| | | 50,19 | 6 | 50,20 | 3 | 50,30 | 1 | 50,20 | 3 | 50,08 |
| | | — | | — | | 2927,9 | 4u | 2927,95 | 2 | 2927,84 |
| | | — | | — | | — | | 10,56 | 2 | 10,45 |
| | | — | | — | | — | | 2871,07 | 1u | 2870,96 |
| | | — | | — | | 2816,41 | 20 | 16,34 | 2 | 16,23 |
| | | — | | — | | — | | 2741,10 | 2u | 2741,00 |
| | | — | | — | | — | | 07,59 | 1u | 07,49 |
| | | — | | — | | — | | 05,05 | 1u | 04,95 |
| | | — | | — | | — | | 2677,15 | 1u | 2677,05 |
| | | — | | — | | 2669,23 | 1 | 69,18 | 1 | 69,08 |
| II. NS. I. 2,5 | | 2660,49 | 10R | 2660,50 | 20R | 60,50 | 3 | 60,42 | 20u | 60,32 |
| II. NS. II. 2,5 | | 52,56 | 10R | 52,56 | 15R | 52,60 | 2 | 52,51 | 15u | 52,41 |
| | | — | | — | | — | | 40,15 | 1u | 40,05 |
| | | — | | — | | 38,20 | 1u | 38,26 | 1 | 38,16 |
| | | — | | — | | 31,83 | 4 | 31,80 | 1 | 31,70 |
| I. NS. I. 4 | | 2575,49 | 4R | 2575,56 | 5 | 2575,52 | 1r | }2575,25 | 20R | |
| I. NS. II. 4 | | 75,20 | 10R | 75,20 | 20R | 75,22 | 1r | | | |
| I. NS. III. 4 | | 68,08 | 10R | 68,08 | 20R | 68,11 | 3r | 2568,04 | 18R | 2567,95 |
| | | — | | — | | — | | 66,29 | 1u | 66,20 |
| | | — | | — | | — | | 59,85 | 1u | 59,76 |
| | | — | | — | | — | | 52,48 | 2 | 52,39 |
| | C | — | | — | | — | | 48,70 | 2 | 48,61 |
| | | — | | — | | — | | 47,85 | 1 | 47,76 |
| | | — | | — | | — | | 38,91 | 1u | 38,82 |
| | | — | | — | | — | | 29,87 | 1u | 29,78 |
| | | — | | — | | — | | 20,64 | 1 | 20,55 |
| | | — | | — | | — | | 2497,74 | 1u | 2497,65 |
| | | — | | — | | — | | 96,52 | 1u | 96,43 |
| | | — | | — | | — | | 94,69 | 1 | 94,60 |
| | | — | | — | | 2475,10 | 1u | 75,07 | 1u | 74,98 |
| | | — | | — | | 59,80 | 1u | 59,85 | 1u | 59,77 |
| | | — | | — | | — | | 52,20 | 1 | 52,12 |
| | | — | | — | | 33,62 | 1 | — | | — |
| | C | 2426,22 | 4r | — | | — | | — | | — |
| | C | 19,64 | 2r | — | | — | | — | | — |
| | C | — | | — | | — | | 12,74 | 1u | 12,66 |
| | | — | | — | | — | | 05,82 | 1u | 05,74 |
| | | — | | — | | — | | 2390,12 | 1u | 2390,04 |
| | | — | | — | | — | | 80,89 | 1u | 80,81 |
| II. NS. I. 3,5 | | 2378,52 | 6R | 2378,53 | 3 | — | | 78,55 | 8 | 78,47 |
| | | — | | — | | 2377,49 | 1 | — | | — |
| I. NS. I. 5 | | 73,45 | 4R | 73,60 | 1 | 73,3 | 2u | 73,38 | 10R | |
| I. NS. II. 5 | | 73,23 | 8R | 73,23 | 5R | — | | | | |
| II. NS. II. 3,5 | | 72,21 | 4R | 72,20 | 2 | 72,11 | 3 | 72,16 | 4R | 72,08 |
| | | — | | 70,30 | 1 | 70,30 | 1 | 70,30 | 1u | 70,22 |
| | | — | | 69,37 | 1 | 69,36 | 2 | 69,36 | 1 | 69,28 |
| | | — | | — | | 68,20 | 1 | — | | — |
| | | — | | — | | 67,70 | 1 | — | | — |
| I. NS. III. 5 | | 67,16 | 10R | 67,13 | 5R | 67,18 | 2 | 67,12 | 8 | 67,04 |
| | | — | | — | | — | | 41,43 | 1u | 41,35 |
| | | — | | — | | — | | 40,13 | 1u | 40,05 |

Tabelle 18 (Fortsetzung).

| Serie | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | — | | — | | — | | 2335,98 | 1u | 2335,90 |
| | — | | — | | — | | 25,99 | 1u | 25,91 |
| | 2321,64 | 4 | 2321,65 | 1 | 2321,68 | 2 | 21,63 | 2 | 21,55 |
| | 19,12 | 2 | — | | 19,12 | 1 | 19,14 | 1 | 19,06 |
| | 17,55 | 2 | — | | 17,53 | 1 | 17,62 | 1 | 17,54 |
| | 15,05 | 2 | — | | 15,05 | 1 | 15,04 | 1 | 14,96 |
| | 13,60 | 2 | — | | 13,61 | 1 | 13,61 | 1 | 13,53 |
| C | 12,56 | 2 | — | | 12,54 | 1 | 12,46 | 1 | 12,38 |
| | — | | — | | — | | 11,01 | 1 | 10,93 |
| C | — | | — | | — | | 06,98 | 1 | 06,90 |
| | — | | — | | — | | 05,01 | 1 | 04,93 |
| | — | | — | | — | | 2299,25 | 1 | 2299,18 |
| I. NS. II. 6 | 2269,20 | 8R | 2269,25 | 3R | 2269,15 | 1 | 69,30 | 5R | 69,23 |
| II. NS. I. 4,5 | 63,83 | 2R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. III. 6 | 63,52 | 8R | 63,57 | 3R | 63,50 | 1 | 63,60 | 5R | 63,54 |
| II. NS. II. 4,5 | 58,27 | 2 | — | | — | | 58,28 | 1 | 58,20 |
| C | 31,27 | 2 | — | | — | | — | | — |
| C | 25,77 | 1r | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | — | | 16,93 | 1 | 16,86 |
| I. NS. II. 7 | 10,15 | 4R | — | | — | | 10,15 | 1R | 01,08 |
| I. NS. III. 7 | 04,73 | 4R | — | | — | | 04,76 | 1R | 04,69[19] |
| II. NS. II. 5,5 | 2199,71 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 8 | 74,13 | 1R | — | | — | | — | | |
| I. NS. III. 8 | 68,87 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 9 | 50,69 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. III. 9 | 45,48 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 10 | 34,81 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. III. 10 | 29,52 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 11 | 23,44 | 1R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. III. 11 | 18,58 | 1R | — | | — | | — | | — |

Infolge der geringen Dispersion des Prismas wurden die Paare 3092, 2575 und 2373 nicht mehr getrennt. Die zur I. Nebenserie gehörenden Linien sind sämtlich sehr unscharf und nach beiden Seiten verbreitert, an den Polen außerdem umgekehrt. Bemerkenswert ist das Auftreten von Funkenlinien. Ich konnte z. B. 2816, 2669, 2638, 2631, 2475 und 2459 nachweisen. Auffallend ist, daß sogar Funkenlinien mit der Intensität 1 noch zu erkennen waren. Auch eine große Anzahl bisher nicht gemessener Linien ist zu verzeichnen. Die Intensitäten dieser Linien schwanken zwischen 1 und 2. Von den neu gefundenen Linien lassen sich drei als Kombinationen deuten:

| $\lambda$ | Komb. | $\nu$ ber. | $\nu$ beob. |
|---|---|---|---|
| 2306 | $2p_2 - 5p_1$ | 43333,6 | 43333,7 |
| 2412 | $2p_2 - \frac{N}{4^2}$ | 41425 | 41434 |
| 2548 | $2p_1 - \frac{N}{3{,}5^2}$ | 39214 | 39214 |

Neue Serienglieder wurden nicht gefunden. Die Schwingungsdifferenz der Paare der II. Nebenserie ist $2p_2 - 2p_1 = 112{,}0$. Diese Differenz findet sich wieder bei folgenden zwei Paaren:

| | | |
|---|---|---|
| 2305 | 43370,8 | 112,6 |
| 2311 | 43258,2 | |
| 2552 | 39166,1 | 112,7 |
| 2559 | 39053,4 | |

In eine Serie ließen sich diese Linien nicht einordnen. Endlich gebe ich noch einige Paare mit konstanten Schwingungsdifferenzen:

Tabelle 19.

| $\lambda$ | $I$ | $\nu$ | $\Delta$ | $\lambda$ | $I$ | $\nu$ | $\Delta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2311 | 1 | 43258,2 | 27,1 | 2299 | 1 | 43479,4 | 145,7 |
| 2312 | 1 | 43231,1 | | 2306 | 1 | 43333,7 | |
| 2317 | 1 | 43134,8 | 28,3 | 2520 | 1 | 39660,9 | 144,8 |
| 2319 | 1 | 43106,5 | | 2529 | 1 u | 39516,1 | |
| 2638 | 1 | 37892,7 | 27,0 | | | | |
| 2640 | 1 u | 37865,7 | | 2340 | 1 u | 42719,9 | 23,8 |
| 3054 | 4 | 32726,1 | 26,9 | 2341 | 1 u | 42696,1 | |
| 3057 | 4 | 32699,2 | | 2547 | 1 | 39237,3 | 23,1 |
| | | | | 2548 | 2 | 39214,2 | |

Tabelle 20.

Zink, Zn.

Verunreinigungen: Ni, Cu, Pb, Fe, Mg, Al, Si, Mn, Sn.
Konstanten der Formel: $s_0 = -229{,}709$, $\lambda_0 = 562{,}5$, $\log(-c) = 7{,}1043450$

| Serie | Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| I. NS. $(2p_2-3d')$ | 3302,67 | 8 R | 3302,81 | 100 R | 3302,75 | 200 | 3302,80 | 30 u | 3302,66 |
| I. NS. $(2p_3-3d'')$ | 3282,42 | 8 R | 3282,50 | 200 R | 3282,49 | 100 | 3282,50 | 20 u | 3282,36 |
| | — | | — | | 56,3 | 1 u | — | | — |
| | — | | — | | 34,4 | 1 u | — | | — |
| | — | | — | | — | | 3186,37 | 1 u | 3186,24 |
| | 3075,99 | 8 R | 3076,02 | 8 | 3076,03 | 5 | 3076,03 | 5 | 3075,91 |
| II. NS. I. 2,5 | 72,19 | 10 R | 72,26 | 10 | 72,23 | 10 r | 72,26 | 5 | 72,14 |
| | — | | — | | — | | 47,31 | 1 u | 47,19 |
| II. NS. II. 2,5 | 35,93 | 10 R | 35,90 | 8 | 36,00 | 5 r | 35,90 | 4 | 35,78 |
| | — | | — | | — | | 20,04 | 1 | 19,92 |
| II. NS. III. 2,5 | 18,50 | 8 r | 18,51 | 3 | 18,53 | 3 r | 18,54 | 3 | 18,42 |
| | 2913,63 | 4 | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 2887,5 | 1 u | — | | — |
| | — | | — | | 83,9 | 1 u | 2883,98 | 1 u | 2883,87 |
| | — | | — | | 57,8 | 1 u | — | | — |
| | 2802,11 | 4 R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. $(2p_1-4d')$ | 00,90 | 7 R | 2801,09 | 30 | 01,15 | 10 r | 01,12 | 50 | 01,01 |

Tabelle 20 (Fortsetzung).

| Serie | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2800,17 | 8R | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 2783,0 | 1u | — | | — |
| C | 2781,33 | 4v | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 79,4 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 79,1 | 1 | — | | — |
| I. NS. ($2p_2-4d''$) | 71,05 | 6R | 2771,02 | 20 | 71,10 | 8r | 2771,01 | 20 | 2770,91 |
| I. NS. ($2p_2-4d'$) | 70,94 | 8R | — | | — | | — | | — |
| I. NS. ($2p_3-4d''$) | 56,53 | 6R | 56,60 | 10 | 56,58 | 4r | 56,64 | 10 | 56,54 |
| C | 51,49 | 2v | — | | — | | — | | — |
| C | 36,96 | 2u | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | — | | 32,25 | 1 | 32,15 |
| | — | | — | | — | | 29,40 | 2 | 29,30 |
| II. NS. I. 3,5 | 12,60 | 8r | 12,60 | 2 | 12,70 | 2r | 12,64 | 4 | 12,54 |
| | 2697,54 | 2u | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 2684,90 | 1 | — | | — |
| II. NS. II. 3,5 | 84,29 | 8r | 2684,29 | 2 | 84,40 | 2 | 2684,29 | 4 | 2684,19 |
| II. NS. III. 3,5 | 70,67 | 6r | 70,68 | 1 | — | | 70,71 | 3 | 70,61 |
| | 23,87 | 1U | — | | — | | — | | — |
| I. NS. ($2p_1-5d$) | 08,65 | 8R | 08,80 | 5 | 08,75 | 3r | 08,68 | 10 | 08,59 |
| C | 01,03 | 2U | — | | — | | — | | — |
| I. NS. ($2p_2-5d''$) | 2582,57 | 8R | 2582,65 | 3 | 2582,70 | 2 | 2582,67 | 10 | 2582,58 |
| | — | | — | | 77,0 | 1 | — | | — |
| C | 75,15 | 2U | 75,21 | 1 | — | | — | | — |
| | — | | — | | 76,1 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 70,87 | 2R | — | | — |
| I. NS. ($2p_3-5d''$) | 70,00 | 6R | 70,05 | 2 | 70,05 | 1u | 70,05 | 4 | 69,96 |
| | — | | — | | 68,5 | 1u | — | | — |
| | 67,99 | 6r | 68,01 | 1 | — | | 68,03 | 2r | 67,94 |
| | — | | — | | 66,3 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 65,85 | 1u | — | | — |
| C | 62,70 | 2U | — | | — | | — | | — |
| C | 58,03 | 8 | 58,1 | 1u | 58,22 | 200 | 58,10 | 1 | 58,01 |
| | — | | — | | 47,9 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 46,66 | 1 | — | | — |
| II. NS. II. 4,5 | 42,53 | 6r | 42,6 | 1u | — | | 42,61 | 2 | 42,52 |
| | — | | — | | — | | 34,35 | 1u | 34,26 |
| II. NS. III. 4,5 | 30,34 | 2r | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 27,22 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 22,30 | 2 | — | | — |
| I. NS. ($2p_1-6d$) | 16,00 | 6U | 16,20 | 1u | 16,00 | 2 | 16,06 | 8u | 15,97 |
| | — | | — | | 15,2 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 09,22 | 2 | — | | — |
| C | 02,11 | 4 | — | | 02,28 | 100 | 02,12 | 1u | 02,03 |
| | — | | — | | 2496,2 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 95,8 | 1u | — | | — |
| | — | | — | | 94,75 | 1u | — | | — |
| II. NS. I. 5,5 | 2493,67 | 4u | — | | — | | 2493,66 | 1 | 2493,57 |
| | — | | — | | 92,22 | 1 | — | | — |
| I. NS. ($2p_2-6d''$) | 91,67 | 6u | 2491,6 | 1u | 91,49 | 1 | 91,60 | 4u | 91,51 |
| | — | | — | | 91,22 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 87,10 | 2 | — | | |
| | — | | — | | 86,23 | 1 | — | | — |
| I. NS. ($2p_3-6d''$) | 79,85 | 4r | — | | — | | 79,89 | 2u | 79,80 |

Tabelle 20 (Fortsetzung).

| Serie | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | — | | — | 2473,45 | 1 | — | | — |
| II. NS. II. 5,5 | 2469,72 | 2r | — | — | | 2469,74 | 1 | 2469,66 |
| | — | | — | 67,22 | 1 | — | | — |
| I. NS. $(2p_1 - 6d'')$ | 63,47 | 4U | — | — | | 63,70 | 4u | 63,62 |
| | — | | — | 60,6 | 1 | — | | — |
| II. NS. III. 5,5 | 57,72 | 1r | — | — | | — | | — |
| | — | | — | 50,42 | 1 | — | | — |
| II. NS. I. 6,5 | 49,76 | 1 | — | — | | — | | — |
| | — | | — | 47,35 | 1 | — | | — |
| | — | | — | 45,8 | 1 | — | | |
| | — | | — | 42,22 | 2 | — | | — |
| I. NS. $(2p_2 - 7d'')$ | 39,94 | 4U | — | 39,50 | 1 | 40,26 | 2u | 40,18 |
| | — | | — | 38,4 | 1u | — | | — |
| | — | | — | 37,8 | 1u | — | | — |
| | — | | — | 34,4 | 1u | — | | — |
| I. NS. $(2p_1 - 8d)$ | 30,74 | 1u | — | — | | 30,72 | 1u | 30,64 |
| | — | | — | — | | 28,88 | 1u | 28,80 |
| II. NS. II. 6,5 | 27,05 | 1u | — | 27,16 | 3u | — | | — |
| | — | | — | 23,52 | 2 | — | | — |
| | — | | — | 18,92 | 3 | — | | — |
| | — | | — | — | | — | | — |
| II. NS. III. 6,5 | 15,54 | 1U | — | — | | — | | — |
| | — | | — | 08,70 | 1 | — | | — |
| I. NS. $(2p_2 - 8d'')$ | 07,98 | 1U | — | — | | — | | — |
| | — | | — | 02,05 | 1 | — | | — |
| | — | | — | 2396,8 | 1u | — | | — |
| | 2393,88 | 8 | — | — | | 2393,89 | 3 | 2393,81 |
| | — | | — | 93,35 | 1u | — | | — |
| | — | | — | 90,20 | 1 | — | | — |
| | — | | — | 76,60 | 1u | — | | — |
| | — | | — | 71,6 | 1u | — | | — |
| | — | | — | 46,77 | 1 | — | | — |
| | — | | — | — | | 45,63 | 1 | 45,55 |
| | — | | — | — | | 37,40 | 1 | 37,32 |
| | — | | — | — | | 30,02 | 1u | 29,94 |
| | — | | — | 17,9 | 1u | — | | — |
| | — | | — | 17,8 | 1u | — | | — |
| | — | | — | 13,8 | 1u | 13,79 | 1u | 13,71 |
| | — | | — | 12,97 | 1 | — | | — |
| | — | | — | 07,9 | 1u | — | | — |
| | — | | — | — | | 00,85 | 1u | 00,77 |
| | — | | — | — | | 2289,99 | 1u | 2289,92 |
| | — | | — | 2288,14 | 2 | 88,11 | 4 | 88,04 |
| | — | | — | 65,44 | 1 | — | | — |
| | — | | — | 65,10 | 3 | 65,06 | 1u | 64,99 |
| | — | | — | 53,02 | 1 | — | | — |
| | 2246,00 | 6 | — | — | | 46,95 | 2 | 46,88 |
| | — | | — | 2144,52 | 1 | — | | — |
| 1,5 S - 2 P[1]) | — | | — | 38,67 | 2R | 2138,39 | 1u | 2138,33 |
| | — | | — | 04,50 | 1 | — | | — |
| | — | | — | 02,3 | 2 | — | | — |
| | — | | — | 00,1 | 2 | — | | — |
| | — | | — | 2096,98 | 1 | — | | — |

Die Resultate meiner Messung stimmen mit den vorhandenen gut überein. Auffallend dagegen sind die Abweichungen, die bei den Linien 2439 und 2138 auftreten. Linie 2439 ist verhältnismäßig schwach und sehr unscharf. Die von Exner und Haschek gemessene Funkenlinie 2439,50 scheint nicht identisch zu sein mit der Bogenlinie 2439. Für die Linie 2138 gibt Ames den Wert 2138,3 der mit dem von mir berechneten gut übereinstimmt. Kombinationslinien wurden nicht gefunden, es sei denn, daß 2732 als solche gedeutet werden könnte. Diese Linie hat die auf Vakuum reduzierte Schwingungszahl 36589,2. Der Term $2p_3 - \frac{N}{4^2}$ ergibt den Wert 36596. Linie 2288, die auch Exner und Haschek im Funken gesehen haben, erscheint als sehr intensive Linie. Sie gehört wohl zum Cadmium, wenngleich weitere Cadmiumlinien nicht nachzuweisen waren[20]. Merkwürdigerweise treten durch Kombinieren dieser Linie mit anderen folgende konstante Differenzen auf:

| $\lambda$ | $I$ | $\nu$ | $\Delta$ |
|---|---|---|---|
| 2288 | 4 | 43691,1 | 241,9 |
| 2300 | 1 u | 43449,2 | |
| 2313 | 1 u | 43205,9 | 243,3 |
| 2288 | 4 | 43691,1 | 1071,4 |
| 2345 | 1 | 42619,7 | |
| 2428 | 1 u | 41159,2 | 1069,3 |
| 2493 | 1 | 40089,9 | |

Diese eigentümliche Tatsache bedarf noch der Erklärung, da 2288 vermutlich eine Cadmiumlinie ist.

Tabelle 21.

Magnesium, Mg.

Verunreinigungen: Fe, Ni, Mn, Pb, Si, Sn.
Konstanten der Formel: $s_0 = -231{,}099$, $\lambda_0 = 562{,}5$, $\log(-c) = 7{,}1043450$

| Serie | Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| | — | | — | | — | | 3106,71 | 1 u | 3196,58 |
| | — | | — | | — | | 86,00 | 1 u | 85,87 |
| | — | | — | | 3106,5 | 2 u | — | | — |
| I. NS. I. 4 | 3097,06 | 10 R | 3097,08 | 20 R | 3097,2 | 2 u | 3097,07 | 20 R | 3096,95 |
| I. NS. II. 4 | 93,14 | 8 R | 93,14 | 20 R | 93,25 | 2 u | 93,20 | 15 | 93,08 |
| I. NS. III. 4 | 91,18 | 8 R | 91,20 | 20 R | 91,25 | 1 u | 91,25 | 15 | 91,13 |
| | — | | 74,20 | 2 | 74,1 | 2 u | 74,20 | 2 | 74,08 |

Tabelle 21 (Fortsetzung).

| Serie | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | — | | — | | — | | 3036,94 | 1 | 3036,82 |
| II. NS. I. 3,5 | 2942,21 | 8u | 2942,22 | 3r | 2942,18 | 1r | 2942,23 | 4u | 2942,12 |
| II. NS. II. 3,5 | 38,67 | 6u | 38,70 | 3r | — | | 38,76 | 3u | 38,65 |
| II. NS. III. 3,5 | 36,99 | 4u | 37,00 | 3r | 36,80 | 200 | 37,75 | 4u | |
| 2. NS. 1. 2,5 | 36,61 | 4u | 36,37 | 3 | — | | | | |
| 2. NS. 2. 2,5 | 28,74 | 4 | 28,9 | 2 | 28,93 | 200 | 28,89 | 3 | 28,78 |
| | 15,57 | 4 | 15,62 | 10 | 15,60 | 10 | 15,65 | 4 | 15,54 |
| | — | | — | | — | | 2668,18 | 1u | 2868,07 |
| I. NS. I. 5 | 2852,22 | 10R | 2852,25 | 500R | 2852,20 | 100R | 52,29 | 50R | 52,18 |
| I. NS. II. 5 | 48,53 | 4U | 48,7 | 3 | — | | 48,52 | 2 | 48,41 |
| I. NS. III. 5 | 46,91 | 4U | 47,1 | 2 | — | | 46,90 | 2 | 46,79 |
| | — | | 17,2 | 1 | 17,0 | 2 | 17,14 | 1u | 17,03 |
| | — | | 15,8 | 1 | 15,8 | 2u | 15,76 | 1u | 15,65 |
| | — | | 12,0 | 1 | — | | 11,95 | 1u | 11,84 |
| | — | | 11,2 | 1 | 11,6 | 1 | 11,15 | 1u | 11,04 |
| | — | | 09,2 | 2 | — | | 09,88 | 2 | 09,77 |
| 2. NS. 2. 1,5 | 02,80 | 10R | 02,82 | 100R | 02,80 | 500R | 02,84 | 30 | 02,73 |
| 1. NS. 1. 3 | 2798,07 | 4 | 2798,10 | 2 | 2798,17 | 100R | 2798,12 | 5 | 2798,02 |
| 2. NS. 1. 1,5 | 95,63 | 10R | 95,64 | 200R | 95,62 | 500R | 95,68 | 50R | 95,58 |
| | — | | 95,01 | 2R | — | | — | | — |
| 1. NS. 2. 3 | 90,88 | 4 | 90,97 | 5 | 90,99 | 100R | 90,89 | 5 | 90,79 |
| | 83,08 | 8R | 83,08 | 20R | 83,08 | 6 | 83,08 | 20 | 82,98 |
| II. NS. I. 4,5 | 81,53 | 8R | 81,51 | 20R | 81,52 | 5 | 81,48 | 20 | 81,38 |
| | 79,94 | 10R | 79,95 | 30R | 79,93 | 10R | 79,98 | 30 | 79,88 |
| II. NS. II. 4,5 | 78,36 | 8R | 78,40 | 20R | 78,34 | 5 | 78,34 | 20 | 78,24 |
| II. NS. III. 4,5 | 76,80 | 8R | 76,82 | 20R | 76,77 | 6 | 76,82 | 20 | 76,72 |
| C | 68,57 | 4r | 68,6 | 1u | — | | 68,54 | 1ur | 68,44 |
| C | 65,47 | 4r | 65,5 | 1u | — | | 65,48 | 1u | 65,38 |
| I. NS. I. 6 | 36,84 | 2U | 36,8 | 1U | — | | 36,67 | 1 | 36,57 |
| I. NS. II. 6 | 33,80 | 2U | 33,7 | 1u | — | | 33,67 | 1 | 33,57 |
| I. NS. III. 6 | 32,35 | 2U | — | | — | | 32,19 | 1u | 32,09 |
| II. NS. I. 5,5 | 2698,44 | 2u | 2698,5 | 1u | — | | 2698,35 | 1 | 2698,25 |
| II. NS. II. 5,5 | 95,53 | 2u | — | | — | | 95,48 | 1u | 95,38 |
| II. NS. III. 5,5 | 93,97 | 2u | — | | — | | — | | — |
| C | — | | — | | — | | 87,31 | 1u | 87,21 |
| I. NS. I. 7 | 72,90 | 1U | 73 | 2U | — | | 72,87 | 2 | 72,77 |
| I. NS. II. 7 | 69,84 | 1U | — | | — | | 69,84 | 1 | 69,74 |
| I. NS. III. 7 | 68,26 | 1U | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | 2659,5 | 1u | — | | — |
| | 49,30 | 1U | — | | — | | — | | — |
| | 46,61 | 1U | — | | — | | — | | — |
| | 45,22 | 1U | — | | — | | — | | — |
| I. NS. I. 8 | 33,13 | 1U | — | | — | | — | | — |
| I. NS. II. 8 | 30,52 | 1U | — | | — | | — | | — |
| I. NS. I. 9. | (05,4) | | — | | — | | — | | — |
| | — | | — | | — | | 2526,97 | 1u | 2526,88 |
| | — | | — | | — | | 2412,70 | 1u | 2412,61 |
| | — | | — | | — | | 2345,68 | 1u | 2345,60 |
| | — | | — | | — | | 13,94 | 1u | 13,86 |
| | — | | — | | — | | 2220,60 | 1u | 2220,53 |
| | — | | — | | — | | 21,92 | 1u | 21,85 |
| | — | | — | | — | | 20,87 | 1u | 20,80 |
| | — | | — | | — | | 16,56 | 1u | 16,49 |

Magnesium hat zwei Systeme von Serienlinien. Das erste ist ziemlich bekannt, vom zweiten kennen wir nur wenige Glieder. Zum Unterschied von dem Tripletsystem bezeichne ich letztere Serien mit arabischen Ziffern. Linie 2936 wurde nicht mehr getrennt beobachtet. Auch waren an den fünf charakteristischen Linien 2783, 2781, 2779, 2778 und 2776 Umkehrungen nicht zu erkennen. Im allgemeinen konnte ich die bisher gemachten Messungen bestätigen. Die von Kayser erhaltenen Linien 2668 bis 2605 waren nicht vorhanden. Dagegen konnte ich im äußersten Teile eine Reihe unbekannter Linien messen. Sie waren sämtlich sehr schwach und unscharf.

Als Kombinationslinie läßt sich 2687 deuten. Es ist

$$2p_2 - \frac{N}{6{,}5^2} = 37198,$$

während 37201 beobachtet ist. Serienlinien wurden nicht gefunden.

Tabelle 22. Blei, Pb.

Verunreinigungen: Fe, Sn, Mg, Bi, Zn.

Konstanten der Formel: $s_0 = -237{,}063$, $\lambda_0 = 562{,}5$, $\log(-c) = 7{,}1043450$

| Serie | Bogen K. u. R. | | Bogen E. u. H. | | Funke E. u. H. | | Hu. Bogen Rowland | | Hu. Bogen Intern. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I. | 3119,09 | 2 | 3119,2 | 1u | — | | 3119,21 | 1u | 3119,09 |
| | — | | — | | — | | 17,26 | 1 | 17,14 |
| | — | | — | | — | | 05,90 | 1 | 05,78 |
| | — | | — | | 3089,50 | 2 | 3089,50 | 1u | 3089,38 |
| | — | | — | | 87,15 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | — | | 63,96 | 1 | 63,84 |
| | — | | — | | 44,00 | 10 | 43,96 | 1 | 43,84 |
| | — | | — | | 31,8 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 17,7 | 1u | — | | — |
| I. | 2980,29 | 2u | — | | — | | 2980,34 | 1u | 2980,22 |
| | — | | — | | 2949,5 | 2u | — | | — |
| | 26,84 | 2r | 2927,0 | 1u | — | | — | | — |
| | — | | — | | — | | 2877,88 | 1u | 2877,77 |
| II. | 2873,40 | 4R | 2873,48 | 50R | 2873,42 | 10R | 73,47 | 20 | 73,36 |
| | — | | — | | 64,5 | 1R | — | | — |
| | 33,17 | 6R | 33,21 | 100R | 33,13 | 15R | 33,22 | 40R | 33,11 |
| | 23,28 | 4R | 23,31 | 30R | 23,29 | 10R | 23,30 | 20 | 23,19 |
| | — | | — | | — | | 16,77 | 1 | 16,66 |
| II. | 02,09 | 5R | 02,1 | 100R | 02,10 | 30R | 02,09 | 50R | 01,98 |
| | — | | — | | 2717,2 | 1u | — | | — |
| | 2712,62 | 2r | — | | — | | — | | — |
| | 2697,72 | 4RU | 2697,8 | 5u | 2697,6 | 1u | 2697,64 | 2u | 2697,54 |
| II. | 63,26 | 4R | 63,27 | 20R | 63,22 | 10R | 63,22 | 10u | 63,12 |
| III. | 57,16 | 2 | 57,18 | 2 | 57,17 | 1 | 57,13 | 1 | 57,03 |
| | 50,77 | 5U | 50,0 | 20u | 50,4 | 2u | 50,6 | 5u | 50,5 |
| II. | 28,36 | 2R | 28,50 | 8 | 28,47 | 2 | 28,37 | 1u | 28,27 |
| | 14,26 | 5R | 14,26 | 50R | 14,29 | 10R | 14,20 | 8 | 14,11 |

Tabelle 22 (Fortsetzung).

| Serie | Bogen | | | | Funke | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K. u. R. | | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| | 2613,74 | 3 R | 2613,77 | 10 R | 2613,79 | 3 R | 2613,77 | 2 | 2613,68 |
| II. | 2577,35 | 4 R | 2577,39 | 20 R | 2577,40 | 5 R | 2577,39 | 10 R | 2577,30 |
| | — | | — | | 68,54 | 1 | — | | — |
| | — | | — | | 63,39 | 5 | — | | — |
| | — | | 36,7 | 3 R | — | | — | | — |
| | — | | — | | — | | 03,45 | 1 u | 03,36 |
| III. | 2476,48 | 4 R | 2476,51 | 10 R | 2476,49 | 6 R | 2476,49 | 8 u | 2476,40 |
| III. | 46,28 | 4 R | 46,30 | 15 R | 46,46 | 4 | 46,34 | 10 R | 46,26 |
| | 43,92 | 4 R | 43,92 | 10 R | 44,10 | 4 | 43,99 | 5 u | 43,91 |
| | 28,71 | 4 | 28,80 | 3 | 28,82 | 2 | 28,74 | 2 | 28,66 |
| II. | 11,80 | 4 R | 11,86 | 8 R | 11,85 | 2 | 11,84 | 2 u | 11,76 |
| | 02,04 | 4 R | 02,06 | 10 R | 02,18 | 3 | 02,09 | 5 u | 02,01 |
| II. | 2399,69 | 3 R | 2399,70 | 2 | 2399,70 | 1 | 2399,71 | 1 | 2399,63 |
| | 93,89 | 5 R | 93,92 | 30 R | 93,70 | 1 | 93,90 | 20 R | 93,82 |
| | — | | — | | — | | 89,77 | 1 u | 89,69 |
| II. | 88,89 | 3 R | 89,0 | 2 | 89,0 | 1 | 88,92 | 2 | 88,84 |
| II. | 32,54 | 4 R | 32,72 | 2 | 32,63 | 1 | 32,57 | 2 | 32,49 |
| | 2257,53 | 1 | — | | — | | — | | — |
| | 54,02 | 3 R | — | | — | | — | | — |
| III. | 47,00 | 6 R | 2247,03 | 5 R | 2247,00 | 2 R | 2247,04 | 4 R | 2246,97 |
| | 37,52 | 5 R | 37,55 | 3 R | 37,7 | 1 u | 37,48 | 4 u | 37,41 |
| | 03,57 | 3 | — | | 03,68 | 4 R | 03,53 | 1 u | 03,46 |
| III. | 2187,99 | 2 | — | | — | | — | | — |
| | 75,88 | 4 R | — | | — | | — | | — |
| | 70,07 | 6 R | — | | 2170,11 | 2 R | — | | — |
| | 15,1 | 5 R | — | | — | | — | | — |
| | 12,0 | 4 | — | | — | | — | | — |
| | 2088,5 | 5 R | — | | — | | — | | — |

Bei Blei ist das gänzliche Fehlen von Serien zu bemerken. Die Bezeichnung der 3 Linienreihen, die dieselben Schwingungsdifferenzen aufweisen, ist dieselbe wie in Kaysers Handbuch. Die bei der Linie 2697 auftretende Differenz erklärt sich aus dem Umstand, daß die Linie sehr unscharf, ein genaues Einstellen auf die Mitte also unmöglich war. Auch Linie 2802 war stark unscharf und nach beiden Seiten diffus erweitert.

In Tabelle 23 füge ich noch die Ergebnisse von Liveing und Dewar der Vollständigkeit wegen hinzu. Die Linien des Lithiums sind sehr breit und unscharf, deshalb schwer zu messen. Sehr stark war im äußersten Teil des Spektrums das Auftreten von Banden. Ich habe die Kanten gemessen. Es sind die für Silicium charakteristischen Banden, die von de Gramont und de Watteville bereits gesehen und bestimmt sind[21].

Tabelle 23. Lithium, Li.

Verunreinigungen: Al, Fe, Mg, Mn, Cu, Li, C.

Konstanten der Formel: $s_0 = -232,126$, $\lambda_0 = 562,5$, $\log(-c) = 7,1043450$

| Serie | Bogen | | | | | Funken | | Hu. Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K. u. R. | | L. u. D. | E. u. H. | | E. u. H. | | Rowland | | Intern. |
| HS. 3 | 3232,77 | 8R | 3232,2 | 3232,83 | 50u | 3232,80 | 3ur | 3232,74 | 20u | 3232,61 |
| | — | | — | — | | — | | 2943,79 | 5u | 2943,68 |
| HS. 4 | 2741,39 | 6R | 2741,0 | 2741,37 | 10u | 2741,32 | 2ur | 2741,41 | 10u | 2741,31 |
| | — | | — | — | | — | | 2646,41 | 1u | 2646,31 |
| HS. 5 | 2562,60 | 5R | 2561,5 | — | | — | | 2562,59 | 5u | 2562,50 |
| HS. 6 | 2475,13 | 4R | — | — | | — | | 2475,38 | 4u | 2475,29 |
| | — | | — | — | | — | | 52,22 | 1u | 52,14 |
| HS. 7 | 25,55 | 3R | — | — | | — | | 25,76 | 3u | 25,68 |
| | — | | — | — | | — | | 2398,62 | 1u | 2398,54 |
| | — | | 2397,5 | — | | — | | — | | — |
| HS. 8 | 2394,54 | | — | — | | — | | 94,56 | 1u | 94,48 |
| HS. 9 | — | | 73,9 | — | | — | | — | | — |
| HS. 10 | — | | 59,4 | — | | — | | — | | — |
| — | — | | — | — | | — | | 2298,17 | 1u | 2298,10 |
| — | — | | — | — | | — | | 84,15 | 1u | 84,08 |
| — | — | | — | — | | — | | 79,99 | 1u | 79,91 |
| — | — | | — | — | | — | | 04,62 | 1u | 04,55 |

| | Watteville | Hu |
|---|---|---|
| Bandenkanten: | 2343,9 | 2343,9 |
| | 2413,8 | 2413,8 |
| | 2587,39 | 2587,4 |
| | 2668,9 | 2668,9 |

Serien und Kombinationslinien wurden nicht gefunden.

## Zusammenfassung.

1) Die Bogenspektra einer Reihe von Metallen (Zn, Pb, Ca, Tl, Cd, Mg, Al, Cu, Ag, Li), die mit Hilfe eines Quarzspektrographen aufgenommen wurden, sind unterhalb $\lambda = 3200$ neu ausgemessen worden.

2) Es wurde die Hartmannsche Formel zur Ausrechnung in Wellenlängen benutzt. Die erzielte Genauigkeit betrug $\pm 0,01$ A.-E., erreichte also im allgemeinen die Genauigkeit der bisherigen Gittermessungen.

3) Es zeigte sich das Auftreten der stärkeren Funkenlinien im Bogen, besonders im ultravioletten Teil des Spektrums. (Vgl. Ag, Cu u. a.)

4) Eine große Anzahl bisher unbekannter Linien konnte gemessen werden. (Vgl. Cd.)

5) Von diesen neuen Linien ließen sich einige als Serien- oder Kombinationslinien deuten. Die Frage, ob der von mir angegebene Verlauf der Serien in Ag und Cu der richtige ist, muß dagegen unbeantwortet bleiben.

Ich habe die Absicht, diesen Messungen noch andere folgen zu lassen, vor allem aber nun das Gebiet der Schumannstrahlen, das nur wenig bekannt ist, zu berücksichtigen.

Zu den Tafeln ist wenig zu bemerken. Das Tl-Spektrum läßt deutlich die große Unschärfe der Linien und ihre Intensitätsverteilung erkennen. In etwa $1^1/_2$—2 facher Vergrößerung haben wir das Gebiet von $\lambda = 3500$ bis $\lambda = 2350$ vor uns. Die Umkehrungen der Linien 2379 und 2767 sind gut zu erkennen. Die übrigen Umkehrungen treten bei dieser Reproduktion nicht mehr hervor.

Dann ist noch ein $3^1/_2$—4 fach vergrößerter Ausschnitt aus dem Cd-Spektrum angefügt. Besonders interessant ist dieses Bild wegen der charakteristischen Linie 2288 (vgl. Seite 32). Auch treten die Linien 2329, 2379, 2476 usw. sehr deutlich hervor.

Herrn Professor Dr. Konen, dem ich die Anregung zu dieser Arbeit verdanke und der mir in liebenswürdiger Weise die Spektralaufnahmen zur Verfügung stellte, bin ich für die vielseitige und gütige Unterstützung zu stetem Danke verpflichtet.

## Anmerkungen.

1) H. Koenemann, Die Verteilung der Emission im Bogen zwischen Metallstäben für Wellenlängen unterhalb $\lambda = 4000$. Diss. Münster 1913, S. 5—10.

2) Vgl. H. Konen, Über die Beteiligung der Luft an der Emission des Lichtbogens. Festschrift der Med. Naturw. Ges. in Münster 1912, S. 28—42.

3) F. Papenfus, Die Brauchbarkeit der Koinzidenzmethode zur Messung von Wellenlängen. Dissert. Münster 1911. S. 15.

4) Ebenda. S. 14—19.

5) Festschrift, S. 29—30.

6) Handbuch 6, S. 891.

7) Festschrift, S. 31.

8) Festschrift, S. 32—34.

9) B. Dunz, Unsere Kenntnis von den Seriengesetzen der Linienspektra. Leipzig 1911.

10) Die Belichtungszeit betrug 20″.

11) Dunz, S. 64.

12) W. M. Watts, An Introduction to the Study of Spectrum Analysis. London 1904.

13) Vgl. F. Paschen, Annalen (4) **35.** 860. 1911; (4) **40.** 602. 1913.

14) Annalen (4) **35.** 867. 1911.

15) Paschen gibt Annalen (4) **35.** 867 den Wert 2481,3. Es scheint dort ein Druckfehler vorzuliegen.

16) Annalen **35.** 867. 1911.

17) Aufnahmen unterhalb $\lambda = 2000$ sollen noch ausgemessen werden.

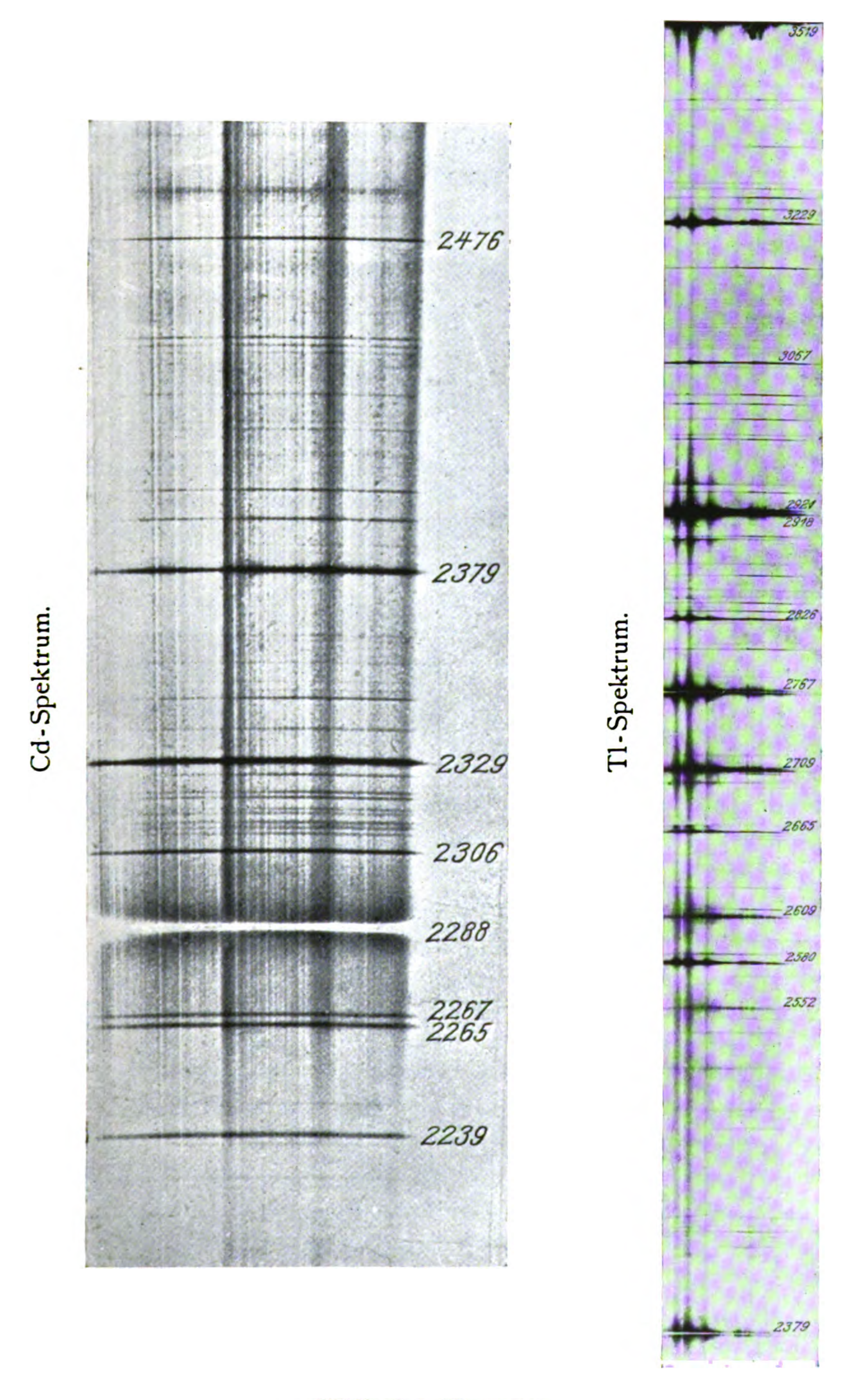
18) Weiter reichende Aufnahmen werden in der gleichen Weise ausgemessen werden.

19) Vgl. Dunz, S 64—65.

20) Vgl. oben S. 32.

21) Handbuch **6.** 494.

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.




Wilhelm Huppers.

*Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.*

Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1913. Heft 3.

## Über die optische Sensibilisierung II.

Von

Chr. Winther und H. Oxholt-Howe.

(Aus dem chemischen Universitätslaboratorium zu Kopenhagen.)

Die hier mitgeteilte Untersuchung wurde durch die folgende Beobachtung veranlaßt. Eine Mischung von Quecksilberchlorid, Ammoniumoxalat und Eosin in wässeriger Lösung war durch mehrtägiges Stehen in direkter Sonne stark gefällt worden, und der rotgefärbte Bodensatz hatte sich wie gewöhnlich scharf abgesetzt. Nachdem die Mischung während des ganzen Sommers dem Sonnenlichte ausgesetzt gewesen war, war sowohl die Farbe der Flüssigkeit wie auch die Menge des Niederschlages anscheinend ganz unverändert geblieben, obwohl die Flüssigkeit noch eine ganze Menge von Quecksilberchlorid und Oxalat enthielt.

Solche „falsche Gleichgewichte" sind ja schon längst in der Dunkelchemie bekannt gewesen, und auch in der photochemischen Literatur finden sich Angaben ähnlicher Art. Wir sehen dabei ganz von falschen wie echten photochemischen Gleichgewichtsverschiebungen ab, für welche hier gar keine Anzeichen vorliegen. Dagegen hat E. Baur[1]) die Beobachtung gemacht, daß die Kohlensäureentwicklung der Lösungen von Kaliumferrioxalat im diffusen Tageslichte zum Stillstand kommt, lange bevor alles Ferrioxalat zersetzt ist. Wie später von C. Schaper[2]) und E. Schiller[3]) nachgewiesen wurde, handelt es sich dabei aber um einen Schwellenwert der wirksamen Lichtstärke, der von der Zusammensetzung der Lösung abhängt. Im Sonnenlichte ist die Zersetzung quantitativ.

Ein zweiter Fall, der anscheinend dem hier vorliegenden ähnlicher ist, wurde von W. Straub[4]) beschrieben. Eine Mischung von Eosin, Kaliumjodid und Stärke in wässeriger Lösung wurde mit Tageslicht bestrahlt und darauf mit Thiosulfat entfärbt. „Entfärbt man ein im Lichte blau gewordenes Reaktionsgemisch durch Titration und exponiert es von neuem, so erreicht es in der gleichen Zeit nicht

mehr denselben Titerwert, auch nicht, wenn man während der Exposition durchlüftet, um den verbrauchten Sauerstoff zu ersetzen. Setzt man diese Prozedur: Belichten, Entfärben, Wiederbelichten, genügend lange fort, so kommt man nach einiger Zeit an einen Moment, wo auch die längste Wiederbelichtung keine Bläuung mehr hervorruft.“ Dabei ist die Farbe und Fluoreszenz des Eosins anscheinend unverändert geblieben, so daß der Stillstand nicht durch dessen Verbrauch verursacht wird. Dagegen zeigte sich, daß das durch die Titration gebildete Tetrathionat den Prozeß stark hemmt. Es ist also nach und nach ein Giftstoff eingeführt worden, aber wie wohl zu bemerken, nicht durch den Lichtprozeß, sondern durch einen unabhängigen chemischen Prozeß. In einer anderen Versuchsreihe[5]), die ohne Stärke durchgeführt wurde, hat **Straub** auch direkt, d. h. ohne Titration, eine maximale Jodabscheidung erhalten, die aber durch die vollständige Zerstörung des Eosins hervorgerufen wurde. Nach erneutem Zusatz von Eosin fing die Reaktion wieder an.

Die Untersuchung der beschriebenen Erscheinung mußte hiernach die folgenden Punkte berücksichtigen:

1. Die eventuelle Vernichtung eines positiven Katalysators.
2. Die eventuelle Bildung eines Giftstoffes (negativen Katalysators).
3. Das Verhältnis der beobachteten Hemmung zur Lichtmenge.
4. Die Bedeutung des Eosins für die Erscheinung.

## Die reine Edersche Flüssigkeit.

Sämtliche Lösungen wurden in genau gleichen Reagenzgläsern und, wo nicht anders bemerkt wurde, mit diffusem Tageslichte bestrahlt. Das Kalomel wurde wie früher beschrieben[6]) titriert. Es wurden stets gleiche Volumina einer 5 %igen Lösung von Quecksilberchlorid und einer 4 %igen Lösung von Ammoniumoxalat gemischt.[7]) Nachdem eine größere Portion dieser Mischung längere Zeit belichtet gewesen war, wurde der Bodensatz abfiltriert und titriert. Darauf wurden abgemessene Mengen des Filtrats zusammen mit gleich großen Mengen von frischen Mischungen gleicher Konzentration weiter belichtet, nachdem sämtliche Lösungen durchlüftet worden waren, um die Kohlensäure fortzutreiben. Es ergab sich auch hier eine Hemmung, d. h. eine verminderte Empfindlichkeit des Filtrats gegenüber den frischen Mischungen.

**Beispiel.** 40 ccm $HgCl_2$ + 40 ccm Oxalat bestrahlt. Ausgefällt 231 mg HgCl. Im Filtrat demnach 34,68 ccm $HgCl_2$ und 38,26 ccm Oxalat pro 80 ccm. Je dreimal 15 ccm des Filtrats und der frischen Mischung bestrahlt (Tabelle 1). Gefunden:

Tabelle 1.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Im Filtrat . . . . . . | 23 | 24 | 24 | mg HgCl |
| In der frischen Mischung | 35 | 34 | 36 | „ „ |

Auch Uviollicht (Tabelle 2) vermag die Hemmung hervorzubringen (vgl. weiter unten bei Eosin).

Tabelle 2.

30 ccm $HgCl_2$ + 30 ccm Oxalat wurden bestrahlt:

| | |
|---|---|
| Im Versuch 258 mit Uviollicht 212 mg HgCl | (nicht vergleichbar) |
| „ „ 259 „ Tageslicht 188 „ „ | |

Nach genügender Lüftung wurden die Filtrate gleichzeitig mit identischen Mischungen entweder mit Uviollicht oder mit Tageslicht bestrahlt (Tabelle 3).

Tabelle 3.

| | mg HgCl I | mg HgCl II | mg HgCl Mittel | Hemmung |
|---|---|---|---|---|
| Filtrat von 258 mit Uviollicht bestrahlt . . | 13,4 | 12,1 | 12,8 | 0,44 |
| Frische Mischung „ „ „ . . | 18,0 | 18,8 | 18,4 | |
| Filtrat von 258 „ Tageslicht „ . . | 5,4 | 6,7 | 6,1 | 0 |
| Frische Mischung „ „ „ . . | 6,7 | 5,4 | 6,1 | |
| Filtrat von 259 „ Uviollicht „ . . | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 0,35 |
| Frische Mischung „ „ „ . . | 18,8 | 17,4 | 18,1 | |
| Filtrat von 259 „ Tageslicht „ . . | 5,4 | 4,0 | 4,7 | 0,70 |
| Frische Mischung „ „ „ . . | 8,0 | 8,0 | 8,0 | |

Unter Hemmung verstehen wir den Quotienten

$$\frac{m_K - m_F}{m_F},$$

wo $m_K$ die Kalomelmenge in der frischen Mischung, $m_F$ diejenige im Filtrat darstellt. Also überall Hemmung, mit Ausnahme der uviolbestrahlten Mischung, die nachher mit Tageslicht bestrahlt wurde. Die Ursache für diese Ausnahme kennen wir nicht.

Von den möglichen Ursachen für die Hemmung bietet sich zunächst die Ansammlung der Chlorionen, deren hemmende Wir-

kung von M. Roloff[8]) nachgewiesen wurde. Die Versuche zeigten aber, daß selbst weit größere Mengen von Ammoniumchlorid als die bei den Bestrahlungen gebildeten nur sehr kleine Hemmungen hervorbrachten.

Weiter ist daran zu denken, daß, wie der eine von uns früher[9]) nachgewiesen hat, die Empfindlichkeit der reinen Ederschen Flüssigkeit für Tageslicht ausschließlich auf der Anwesenheit sehr kleiner Eisenmengen beruht. Es liegt dann die Möglichkeit vor, daß das Eisensalz durch Adsorption an dem Kalomel aus der Flüssigkeit entfernt werden konnte. Darauf deutet auch die Beobachtung, daß ein schwach gehemmtes Filtrat nach Zusatz von ganz wenig Ferrichlorid wieder stark empfindlich wurde. In einem stark gehemmten Filtrate war das Ferrichlorid dagegen fast unwirksam. 100 ccm Mischung wurden mehrere Tage hindurch belichtet. Das Filtrat (und die Kontrollösung) enthielt pro 100 ccm 16,27 ccm $HgCl_2$ und 38,96 ccm Oxalatlösung. Die angegebenen Zusätze beziehen sich auf 100 ccm der Mischung (Tabelle 4).

Tabelle 4.

| Zusatz | Bestrahltes Volumen | mg HgCl | |
|---|---|---|---|
| | | Filtrat | Kontrollösung |
| — | 15 ccm | 0 | 26 |
| 4 ccm 0,1-molar $FeCl_3$ | — | 0,7 | 40 |
| 8 ccm 0,0063-molar Eosin | — | 0 | 54 |

Also weder Eosin noch Ferrichlorid vermag die sehr starke Hemmung aufzuheben. Es ist zu bemerken, daß diese starke Hemmung an einem sehr trüben Tage beobachtet wurde. Es ist möglich, daß sie dadurch besonders stark hervortritt, ohne daß diese Möglichkeit uns jedoch der Erklärung näher bringt.

Es gelang nicht, in dem aus einer stark eisenhaltigen Ederschen Flüssigkeit ausgeschiedenen Kalomel das Eisen nachzuweisen.

Es ist uns also vorläufig nicht gelungen, die Ursache dieser Hemmung festzustellen.

### Die eosinhaltige Edersche Flüssigkeit.

Die Mischungen wurden gewöhnlich aus gleichen Volumina Quecksilberchlorid, Ammoniumoxalat und Eosin (0,001-molar) vermischt. Nach der Bestrahlung und Titrierung des Kalomels wurde

das jeweilige Filtrat bei sehr schwachem Tageslichte mit einer Reihe von Mischungen von gleichem Quecksilber- und Oxalatgehalt, aber verschiedenem Eosingehalt verglichen und dabei die beiden Mischungen ausgewählt, deren Färbungen derjenigen des Filtrats beiderseits am nächsten lagen. Wegen der Möglichkeit der Bildung fremder Farbstoffe (siehe weiter unten) ist diese Methode wohl nicht besonders sicher, stellt aber vorläufig die einzig mögliche dar, da das Eosin nicht aus der komplexen Lösung entfernt werden kann, und eine Brombestimmung gänzlich falsche Resultate ergeben würde. Auch waren die Farbentöne der Filtrate und der betreffenden Vergleichslösungen stets sehr nahe identisch und die zu messenden Differenzen an Lichtempfindlichkeit so groß, daß der hier zu befürchtende Fehler wahrscheinlich ohne jede Bedeutung ist.

Zunächst ergaben sich sehr starke Hemmungen, die im allgemeinen mit der Stärke der Vorbelichtung zunahmen.

Im folgenden Beispiel sind angeführt die Volumina der verschiedenen Lösungen, welche für 30 ccm Mischung verwendet wurden (Tabelle 5).

Tabelle 5.

| Nr. | $HgCl_2$ | Oxalat | Eosin | Bestrahltes Volumen | mg HgCl | Hemmung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 173 | 10 | 10 | 10 | 30 | 92 | |
| 174 | 7,88 | 9,31 | 2,0 | 25 | 50 | |
| 175 | Filtrat von Nr. 173 | | | — | 39 | 0,22 |
| 176 | 7,88 | 9,31 | 1,0 | — | 46 | |
| 177 | 7,44 | 8,04 | 1,25 | 20 | 42 | |
| 178 | Filtrat von Nr. 175 | | | — | 15 | 1,8 |
| 179 | 7,44 | 8,04 | 1,00 | — | 42 | |
| 180 | 6,32 | 6,55 | 1,00 | 15 | 13 | |
| 181 | Filtrat von Nr. 178 | | | — | 4 | 2,3 |
| 182 | 6,32 | 6,55 | 0,75 | — | 13 | |

Wir hatten die Absicht, das Verhältnis zwischen Insolationszeit und Hemmung, wegen der größeren Konstanz der Lichtquelle, durch Uviolbestrahlung zu untersuchen. Es ergaben sich aber dabei so kleine und schwankende Werte der Hemmung, daß die Realität der Erscheinung für Uviolbestrahlung überhaupt fraglich wurde. Um der Sache etwas näher zu treten, bestrahlten wir dann identische Lösungen mit Uviollicht hinter Flüssigkeitsfiltern von Chininsulfat resp. Wasser (Tabelle 6).

Tabelle 6.

| Nr. | $HgCl_2$ | Oxalat | Eosin | Volumen | Filter | Zeit | mg HgCl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 219 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 25 | Wasser | 40 Min. | 95 |
| 220 | — | — | — | — | Chinin | 80 Min. | 109 |

Die Filtrate wurden dann gleichzeitig mit gleich zusammengesetzten Kontrollösungen hinter Chinin- resp. Wasserfilter mit Uviollicht bestrahlt (Tabelle 7).

Tabelle 7.

| $HgCl_2$ | Oxalat | Eosin | Totales Volumen | Bestrahltes Volumen | Chininfilter, 30 Min. | | Wasser, 15 Min. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | mg HgCl | Hemmung | mg HgCl | Hemmung |
| 6,2 | 7,6 | 2 | 25 | 10 | 15 | | 8 | |
| Filtrat von Nr. 219 | | | — | — | 12 | 0,1 | 5 | 0,25 |
| 6,2 | 7,6 | 1 | — | — | 12 | | 5 | |
| 5,8 | 7,5 | 2 | — | — | 15 | | 7 | |
| Filtrat von Nr. 220 | | | — | — | 5 | 1,6 | 1,3 | 4 |
| 5,8 | 7,5 | 1 | — | — | 13 | | 7 | |

Es geht daraus hervor, daß die Hemmung nur dann hervortritt, wenn das ultraviolette Licht bei der Vorbelichtung ferngehalten wird. Wenn die hemmende Ursache aber einmal ausgebildet worden ist, läßt sie sich offenbar nicht mehr durch die ultraviolette Strahlung zerstören.

Diese Verteilung der Farbenempfindlichkeit der Hemmung deutet entschieden auf das Eosin als Hauptsitz der Erscheinung hin. Es wurde deshalb die Wirkung der Primärbelichtung[10]) des Eosins untersucht. 5 ccm einer wässerigen Eosinlösung, die 36 Tage in wechselndem Tageslichte (auch Sonne) gestanden hatte und stark ausgebleicht war, wurde mit je 5 ccm HgCl und Oxalat vermischt und mit identischen Lösungen verglichen, die nur anstatt der alten Lösung 1 resp. 2 ccm einer frischen Eosinlösung enthielten. Es wurden zwei Versuchsreihen gemacht (Tabelle 8).

Tabelle 8.

| Eosin | I | | II | |
|---|---|---|---|---|
| | mg HgCl | Hemmung | mg HgCl | Hemmung |
| 1 | 28 | | 25 | |
| alt | 23 | 0,20 | 20 | 0,25 |
| 2 | 27 | | 25 | |

In der Versuchsreihe II wurde der im bestrahlten Eosin vorhandene, sehr kleine Bodensatz vor der Vermischung mit den Salzlösungen aufgeschlemmt.

In ähnlicher Weise untersuchten wir eine Eosinlösung, die mit der 220-Volt-Quarz-Quecksilberlampe von Heraeus viele Stunden hindurch bestrahlt worden war und einen großen Bodensatz aufzeigte, der in der Versuchsreihe II, aber nicht in I, mitgenommen wurde (Tabelle 9).

Tabelle 9.

| Eosin | I | | II | |
|---|---|---|---|---|
| | mg HgCl | Hemmung | mg HgCl | Hemmung |
| 1 | 26 | | 25 | |
| alt | 17 | 0,5 | 16 | 0,6 |
| 2 | 24 | | 25 | |

Eosin, das stark belichtet wurde, bringt also überall eine schwache Hemmung hervor. Diese Tatsache schließt aber noch nicht die Möglichkeit aus, daß die Hemmung durch das Verschwinden eines positiven Katalysators (z. B. einer Verunreinigung des Eosins) zustande kommt. Um dies zu prüfen, wurde 120 ccm eosinhaltige Mischung so lange belichtet, bis der Niederschlag 760 mg ausmachte. Je 10 ccm des Filtrates wurden mit identischen frischen Lösungen, die pro 120 ccm 22,47 ccm $HgCl_2$, 34,27 ccm Oxalat und 20 resp. 16 ccm Eosin enthielten, teils allein, teils nach Zusatz von Ferrichlorid oder Eosin verglichen (Tabelle 10).

Tabelle 10.

| | Eosin | Kein Zusatz | | + 5 Tr. 0,0063-mol. E. | | + 1 Tr. 0,8-mol. $FeCl_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mg HgCl | Hemmung | mg HgCl | Hemmung | mg HgCl | Hemmung |
| Frische Lösung | 20 | 40 | | 35 | | 25 | |
| Filtrat | | 24 | 0,7 | 17 | 1,1 | 13 | 0,8 |
| Frische Lösung | 16 | 43 | | 35 | | 21 | |

Die Reihen sind auch untereinander vergleichbar. Es zeigt sich demnach, daß ein Zusatz von Eosin, der so groß ist, daß der gesamte Eosingehalt auf den ursprünglichen Wert steigt, die Hemmung nicht aufzuheben vermag. Es scheint hiernach sichergestellt zu sein, daß die Hemmung bei der eosinhaltigen Ederschen Flüssigkeit durch die Bildung eines Giftstoffes verursacht wird.

Da A. Heffter[11]) durch längere Bestrahlung von Eosinlösungen als Hauptprodukte Bromwasserstoff, Oxalsäure und Phtalsäure gefunden hat, wurden die Wirkungen dieser Substanzen untersucht. Je 10 ccm eosinhaltige Mischung wurde mit gesättigten Lösungen von Oxalsäure resp. Phtalsäure vermischt und belichtet (Tabelle 11).

Tabelle 11.

| Oxalsäure | Phtalsäure | mg HgCl | |
|---|---|---|---|
| | | I | II |
| — | — | 52 | 47 |
| 2 ccm | — | 63 | 25 |
| 2 „ | 2 ccm | 63 | 25 |
| — | 2 „ | 64 | 25 |

In Versuchsreihe II wurden je 8 ccm der Filtrate von der Reihe I weiter belichtet. Die beiden Säuren scheinen anfangs eine schwache Beschleunigung, später eine Hemmung hervorzurufen. Die hier verwendeten Mengen sind jedoch weit größer als diejenigen, die durch Zersetzung des Eosins entstehen können, so daß auch die dadurch hervorgebrachte Azidität ohne Bedeutung ist. Auch der Zusatz von wechselnden Mengen von Ammoniumbromid bringt nur sehr kleine und unwesentliche Hemmungen hervor.

Dagegen zeigen sich bei den Filtraten der bestrahlten, eosinhaltigen Lösungen zwei sehr charakteristische Unterschiede gegenüber den identischen aber frischen Mischungen. Die Filtrate können erstens ohne jede Spaltung zum Sieden erhitzt werden, während die frischen Mischungen dadurch getrübt werden (roter Bodensatz). Zweitens vertragen die Filtrate schwache Übersättigung mit Natriumhydroxyd, während die frischen Mischungen dadurch ein rotgefärbtes Quecksilberamidchlorid fallen lassen.

Nun hat der eine von uns früher[12]) nachgewiesen, daß die sensibilisierende Wirkung des Eosins auf die Edersche Flüssigkeit auf der Bildung eines eosinhaltigen Komplexes beruht. Die beschriebene Hemmung konnte dann entweder auf der Bildung eines noch beständigeren Komplexes oder auf der Bildung eines anderen, stärker absorbierenden Farbstoffes beruhen. Mit der letzten Möglichkeit kommen wir auf die Versuche mit Zusatz von Ferrichlorid zurück.

Beim Zusatz von wechselnden Mengen Ferrichlorid (bis zu 5 Tropfen 0,002-molarer Lösung zu 15 ccm) zur eosinhaltigen

Ederschen Flüssigkeit fängt die Zersetzung zuerst in den am stärksten eisenhaltigen Lösungen an. Die differentiale Lichtempfindlichkeit der Lösung wird also durch Eisenzusatz erhöht. Nach und nach nehmen aber die eisenhaltigen Lösungen, namentlich in ihrem oberen Teile, eine dunkelrote Farbe an, die so viele von den wirksamen Strahlen absorbiert, daß die eisenfreien Lösungen nach und nach die anderen einholen. Man kann deshalb je nach den Umständen gar keine Wirkung oder, wie bei den obigen Versuchen, eine hemmende Wirkung des Eisensalzes beobachten, die folglich rein optischer Natur ist.

Die Bildung dieses roten Farbstoffes ist von mehrseitigem Interesse. Erstens braucht man dafür gar kein Quecksilbersalz, sondern nur Eisen, Oxalat und Eosin. Versetzt man im Dunkelzimmer eine Mischung von Ammoniumoxalat und Eosin mit einer verdünnten Lösung von Ferrosulfat, so wird die Farbe der Lösung nach und nach intensiver rot und dunkler werden, bis sich das gesamte Ferrooxalat oxydiert hat, von welchem Augenblicke ab die Farbe unverändert bleibt. Es handelt sich hier offenbar um eine Wirkung der Autoxydation des Ferrooxalates von ähnlicher Art wie die „Kalomelfällung", die der eine von uns früher[13]) beschrieben hat. Stellt man die beschriebene Mischung ans Tageslicht, so wird das Ferrioxalat wieder zu Ferrooxalat reduziert, und das Spiel fängt von neuem an. Es läßt sich in dieser Weise eine ganze Menge von Eosin nach und nach in den roten Farbstoff umwandeln, ohne daß es uns jedoch bis jetzt gelungen ist, ihn vom übriggebliebenen Eosin vollständig zu scheiden.

Nun weiß man wohl bisher nichts Sicheres über den Mechanismus der optischen Sensibilisierung der Ederschen Flüssigkeit durch Eosin. Es ist aber jedenfalls möglich, daß diese Erscheinung durch irgend einen Prozeß, an dem das Eosin teilnimmt, in ähnlicher Weise veranlaßt wird, wie die Umwandlung der reinen Ederschen Flüssigkeit durch die Autoxydation des Ferrooxalates. Dies vorausgesetzt, darf geschlossen werden, daß der gleiche treibende Prozeß auch, ebenso wie es die Oxydation des Ferrooxalates macht, die Umwandlung des Eosins in den roten Farbstoff (oder einen ähnlichen) veranlassen wird.

Obwohl hierdurch die Möglichkeit der Bildung eines stärker absorbierenden Farbstoffes vorhanden ist, reicht sie jedoch zur Erklärung der beobachteten Hemmungen nicht aus, namentlich, weil

die Hemmung desto stärker wird, je geringer die Farbstärke der bestrahlten Lösung ist.

Es darf also als sichergestellt angesehen werden, daß die beschriebene Hemmung durch Bildung eines Giftstoffes zustande kommt; die Natur dieses Giftstoffes bleibt vorläufig unbekannt.

### Ferrosulfat und Eosin.

Während es sich im vorhergehenden um eine Reaktion handelt, die im Dunkeln unmeßbar langsam vor sich geht, stark lichtempfindlich und kräftig sensibilisierbar ist, bietet uns die Oxydation des Ferrosulfates das Beispiel eines im Dunkeln freiwillig verlaufenen Prozesses, das für sichtbares Licht nur schwach empfindlich ist.[14]) Das Verhalten gegenüber Eosin wurde von Edlefsen[15]) untersucht. Danach gibt eine mit Eosin versetzte, verdünnte Ferrosulfatlösung im Lichte schnell einen roten Niederschlag von Ferrihydroxyd, das etwas Eosin adsorbiert hat, das sich aber leicht auswaschen läßt. Kräftige Primärbelichtung des Eosins (5—6 Stunden in direkter Sonne, also Destruktion) ergibt nachher stärkere Ausscheidung, selbst wenn das bestrahlte Eosin mehrere Stunden im Dunkeln gestanden hat.

Bei unseren Versuchen wurde zunächst der Einfluß der Eosinkonzentration bestimmt (Tabelle 12). Zur Analyse wurden die Mischungen mit verdünnter Schwefelsäure versetzt und nahe bis zum Sieden erhitzt. Die rote Farbe der Flüssigkeit schlägt dadurch in Gelb um, so daß die Titrierung — mit 0,02-normaler $KMnO_4$-Lösung — sich ohne Schwierigkeit ausführen läßt. Die angegebenen Differenzen bedeuten ccm $KMnO_4$.

Tabelle 12.

| 10 ccm 0,1-molare $FeSO_4$ + 10 ccm Eosin verschiedener Molarität | | | | 10 ccm 0,01-molare $FeSO_4$ + 10 ccm Eosin verschiedener Molarität | |
|---|---|---|---|---|---|
| Molarität des Eosins | Diff. I | Diff. II | Diff. III | Molarität des Eosins | Diff. |
| 0,001 | 1,5 | — | — | 0,00025 | 1,05 |
| 0,0005 | 1,5 | — | — | 0,000125 | 1,05 |
| 0,00025 | 1,5 | — | 1,10 | 0,000063 | 1,00 |
| 0,000125 | 1,4 | 2,1 | 1,10 | 0,000031 | 0,90 |
| 0,000063 | 1,4 | 1,8 | 0,90 | 0,000016 | 0,75 |
| 0,000031 | — | 1,8 | 0,75 | 0 | 0,05 |
| 0,000016 | — | 1,7 | 0,60 | | |
| 0,000008 | — | 1,2 | — | | |
| 0 | 0,9 | 0,8 | 0,20 | | |

Die einzelnen Versuchsreihen sind nicht untereinander vergleichbar. Bis zu einem Gehalte von 0,000063 Mol Eosin (pro 20 ccm) sind die Fällungen gelblich, mit mehr Eosin zunehmend rötlich.

Die Empfindlichkeit steigt also mit zunehmender Eosinmenge bis zu einem maximalen Wert, der weiterhin konstant bleibt.

Wie zu erwarten, wird die Oxydation durch Lüftung befördert. In einem Versuch erhielten wir aus 0,1-molaren $FeSO_4$ und 0,00025-molaren Eosin ohne Lüftung 1,1, mit Lüftung 1,8 ccm Differenz.

Auch im Dunkeln kommt natürlich nach und nach eine Fällung, und es schien uns, in Betracht der Versuchsanordnung von Edlefsen, notwendig, die Realität der Lichtwirkung überhaupt zu sichern. Es wurden deshalb vier Gläser mit 0,1-molaren $FeSO_4$ und 0,000125-molaren Eosin resp. Wasser im gleichen Wasserbehälter belichtet wobei die zwei Gläser geschwärzt waren (Tabelle 13).

Tabelle 13.

| $FeSO_4$ + | Diff. |
|---|---|
| Eosin | 1,00 |
| „ , geschwärzt | 0,50 |
| Wasser | 0,50 |
| „ , geschwärzt | 0,50 |

Während die wässerige Lösung von Ferrosulfat, wie schon bekannt, nur sehr schwach lichtempfindlich ist, darf die Empfindlichkeit der eosinhaltigen Lösung als unzweifelhaft angesehen werden.

Darauf wurde der Einfluß der Eisenkonzentration untersucht. Je 10 ccm 0,000125-molarer Eosin oder Wasser wurden mit 10 ccm $FeSO_4$-Lösung vermischt (Tabelle 14).

Tabelle 14.

| $FeSO_4$ molar | Differenz | | $FeSO_4$ molar | Differenz | |
|---|---|---|---|---|---|
| | + Wasser | + Eosin | | + Wasser | + Eosin |
| 0,1 | 0,20 | 1,10 | 0,1 | 0,30 | 1,00 |
| 0,0125 | 0 | 0,45 | 0,025 | 0,15 | 0,80 |
| 0,0063 | 0 | 0,43 | 0,0063 | 0,05 | 0,45 |

Die Wirkung des Eosins tritt also desto stärker hervor, je verdünnter die Eisenlösung ist.

Um einen Begriff von der Zeitkurve zu haben, wurde die folgende Versuchsreihe angestellt (Tabelle 15).

Tabelle 15.

10 ccm 0,1-mol. $FeSO_4$ + 100 ccm 0,000125-norm. Eosin oder Wasser

| Zeit in Tagen | Differenz | | Beschleunigung |
|---|---|---|---|
| | Wasser | Eosin | |
| 1 | 0,30 | 1,00 | 2,3 |
| 2 | 0,60 | 1,50 | 1,5 |
| 3 | 0,90 | 1,80 | 1,0 |
| 5 | 1,10 | 2,10 | 0,9 |
| 12 | 1,70 | 4,10 | 1,4 |

Unter „Beschleunigung“ verstehen wir den Quotienten $\frac{D_E - D_W}{D_W}$, wo $D_E$ die Differenz bei der eosinhaltigen, $D_W$ diejenige bei der wässrigen Lösung bedeutet.

Die Beschleunigung scheint (mit Ausnahme der letzten Beobachtung) mit der Zeit schwach abzunehmen. Da diese Abnahme durch die Ausbleichung des Eosins verursacht werden konnte, wurde in einer zweiten Versuchsreihe nach angemessenen Zeiten wieder etwas Eosin zugesetzt, was jedoch ohne wesentliche Bedeutung blieb. Höchstens nahm die Empfindlichkeit dadurch ein wenig ab.

Die scheinbare Farbenempfindlichkeit wurde durch Bestrahlung hinter den früher [16]) beschriebenen Flüssigkeitsfiltern (Schichtdicke 1 cm) annähernd ermittelt (Tabelle 16).

Tabelle 16.

| Filter | Zeit | Differenz | Zeit | Differenz |
|---|---|---|---|---|
| Rot | 2 Tage | 0,30 | 48 Tage | 3,30 |
| Grün | — | 1,10 | — | 5,00 |
| Blau | — | 1,10 | — | 4,60 |

Dabei ist zu bemerken, daß nach 48 Tagen hinter den roten und grünen Filtern jede Spur von Eosin aus der Lösung verschwunden war, während die Flüssigkeit hinter dem Blaufilter noch eosinhaltig war. Die Ausbleichung des Eosins scheint somit wenigstens teilweise unabhängig von der Oxydation des Ferrosalzes zu verlaufen.

### Der Verlust an Sensibilisator.

Die Frage nach dem eventuellen, gänzlichen oder teilweisen, Verbrauch des optischen Sensibilisators ist für die Theorie der cptischen Sensibilisierung von der größten Bedeutung. Läßt sich irgendwo der Fall nachweisen, daß die Menge des Sensibilisators während der Lichtreaktion konstant bleibt, so muß die Sensibilisierung entweder rein physikalisch-katalytisch sein oder auch durch vollkommen reversible Änderungen (Kernbildung, Ionisierung usw.) des Sensibilisators zustande kommen. Liegt dagegen eine Abnahme des Sensibilisators vor, so wird die Sache komplizierter. Erstens kann die Sensibilisierung noch stets physikalisch oder primär-reversibel sein, und die Veränderung des Sensibilisators einen davon (mehr oder weniger) unabhängigen Prozeß darstellen. Zweitens läßt sich denken, daß diese Veränderung einen integrierenden Bestandteil des ganzen Prozesses darstellt, indem die Strahlung zuerst den (freien oder gebundenen) Sensibilisator chemisch angreift, worauf die Änderung durch Katalyse, durch Koppelung oder durch stöchiometrische Umsetzung auf den zu sensibilisierenden Stoff übertragen wird.

Es liegen in der Literatur nur wenige genaue Angaben über derartige Fälle vor. Bei den von F. Weigert entdeckten und studierten Sensibilisierungen von Gasreaktionen mit Chlor[17]) bleibt dies ganz unverändert, wenn es nicht in einer unabhängigen Reaktion teilweise verbraucht wird. Für die Oxydation von Kaliumjodid mit Eosin als Sensibilisator hat Straub[4]) in den stärkehaltigen Lösungen, d. h. bei kleinen Umsetzungen, keine Änderung der Eosinmenge, in den stärkefreien Lösungen[5]) bei großen Umsetzungen dagegen vollkommenes Verschwindens des Eosins konstatieren können. Gewöhnlich wird man wohl ein teilweises Ausbleichen des Sensibilisators sehen.

Wir haben versucht, für Eosin die Verhältnisse in zwei Fälle zahlenmäßig zu erfassen. In beiden Fällen — $FeSO_4$ + Eosin und $HgCl_2$ + Eosin — traten Bodensätze auf, die das Eosin teilweise adsorbierten, so daß die zu jeder Zeit in der Lösung vorhandene Menge nicht genau bekannt war. Der dadurch eingeführte Fehler scheint uns aber nicht von großer Bedeutung zu sein, da die Bodensätze nur klein und nicht stark adsorbierend waren.

Zur Analyse wurden die Flüssigkeiten mit einem bestimmten Überschuß von Natriumhydroxyd versetzt, zentrifugiert, aus der

klaren Flüssigkeit eine bestimmte Menge genommen, die auf ein großes, bekanntes Volumen verdünnt wurde und im Fluoroskop mit einer Reihe von gleichzeitig dargestellten Kontrollösungen mit verschiedenen Eosinkonzentrationen verglichen wurden. Es zeigte sich dabei, daß schon eine 0,025-molare Ferrosulfatlösung durch Übersättigung mit Natriumhydroxyd das Eosin zu Leukoeosin reduziert, so daß die zentrifugierte Lösung nicht mehr fluoresziert. Es wurden deshalb nur 0,0063-molare Lösungen verwendet, bei welchen dieser Fehler nicht mehr auftritt.

Das verwendete Fluoroskop, das schon durch viele Jahre im hiesigen Laboratorium im Gebrauch war, ähnelt dem von H. Stobbe[18]) beschriebenen Apparat, hat aber den wesentlichen Vorteil, daß der Beobachtungskasten seitlich verschiebbar ist. Die Beobachtung wird dann so gemacht, daß man zuerst in gewöhnlicher Weise diejenigen (2, 3 oder 4) Gläser der Kontrollreihe auswählt, die der zu untersuchenden Lösung beiderseits am nächsten stehen. Darauf stellt man für eine dieser Lösungen und die unbekannte Lösung durch seitliche Verschiebung des Kastens so genau wie möglich auf Identität ein und wechselt dann die beiden Gläser um. Selbst sehr geringe Unterschiede der Fluoreszenz werden hierdurch stark hervorgehoben. Darauf wird die zweite Kontrollösung in gleicher Weise mit der unbekannten Lösung verglichen usw. Es gelingt dadurch, wenn für jeden Farbstoff das geeignete Verdünnungsgebiet benutzt wird, sehr leicht die Farbstoffmenge mit einer Unsicherheit von $\pm 3\%$ zu messen, was bei stark verdünnten Lösungen eine recht erhebliche Genauigkeit darstellt.

Es wurden mehrere Gläser mit je 10 ccm 2,5 %iger $HgCl_2$-Lösung oder Wasser und 5 ccm 0,001-molarer Eosinlösung belichtet (Tabelle 17).

Tabelle 17.

| Zeit in Tagen | Verlust an Eosin in % | |
|---|---|---|
| | mit Wasser | mit $HgCl_2$ |
| 4 | 20 | 70 |
| 29 | 50 | 75 |
| 49 | 55 | 80 |
| 71 | 60 | 85 |
| 96 | 70 | 85 |
| 126 | 95 | 85 |

Es liegt also anfangs eine sehr starke Beschleunigung

der Ausbleichungsgeschwindigkeit vor, die aber sehr bald verschwindet und später in eine Hemmung übergeht.

Ganz dieselbe Erscheinung zeigt sich auch in einer kurzen Versuchsreihe mit starker Belichtung (Sommer), wo 10 ccm 0,000125-molares Eosin mit 10 ccm 0,0063-molarem $FeSO_4$ oder Wasser vermischt wurden (Tabelle 18).

Tabelle 18.

| Zeit in Tagen | Verlust an Eosin in % | | Diff. an $Fe^{\cdot\cdot}$ in ccm $KMnO_4$ |
|---|---|---|---|
| | mit Wasser | mit $FeSO_4$ | |
| 2 | 35 | 60 | 0,70 |
| 7 | 85 | 60 | 1,00 |

Bei einer längeren Versuchsreihe mit schwacher Belichtung (Winter) tritt aber die Hemmung durch das Ferrosalz weit schneller ein (d. h. bei weit geringerem Eosinverluste). Die Versuchsanordnung war die gleiche wie im vorigen Versuche, nur wurde das Eisen nicht bestimmt. (Tabelle 19).

Tabelle 19.

| Zeit in Tagen | Verlust an Eosin in % | |
|---|---|---|
| | mit Wasser | mit $FeSO_4$ |
| 3 | 20 | 20 |
| 10 | 40 | 30 |
| 17 | 40 | 30 |
| 38 | 75 | 40 |
| 100 | 90 | 45 |

Da die Oxydation des Ferrosalzes (siehe auch Tabelle 18) währenddessen regelmäßig fortschritt, so ergibt sich, in Übereinstimmung mit den Farbenempfindlichkeitsmessungen, daß die Ausbleichung des Eosins und die photochemische (sensibilisierte) Oxydation des Ferrosalzes teilweise voneinander unabhängig sind.

**Ergebnisse dieser Arbeit.**

Es wurde gezeigt, daß sowohl die reine als die eosinhaltige Edersche Flüssigkeit während der Belichtung unempfindlicher wird, als es der Konzentrationsabnahme entspricht.

Diese Hemmung wird weder von Eosin noch von Ferrichlorid aufgehoben.

Für die eosinhaltige Edersche Flüssigkeit wurde das Eosin als Quelle der Erscheinung nachgewiesen. Die Hemmung beruht hier auf der Bildung eines Giftstoffes.

Die Sensibilisierung der Oxydation des Ferrosulfates durch Eosin wurde in bezug auf die Konzentrationen der Bestandteile untersucht.

Sowohl durch Untersuchung der Farbenempfindlichkeit als durch Messung der Verluste an Eosin und Ferrosalz wurde gezeigt, daß das Ausbleichen des Eosins wenigstens teilweise unabhängig von der Oxydation des Ferrosulfates verläuft.

## Literatur.


1) Zeitschr. phys. Chemie **63.** 684. 1908.
2) Zeitschr. phys. Chemie **72.** 318. 1910.
3) Inaug.-Diss. Braunschw. 1912, S. 31.
4) Münchener med. Wochenschr. **51.** 1093. 1904.
5) Arch. experim. Pathol. u. Pharmacol. **51.** 383. 1904.
6) Diese Zeitschr. **7.** 412. 1909.
7) Diese Zeitschr. **9.** 206. 1911.
8) Zeitschr. phys. Chemie **13.** 329. 1894.
9) Diese Zeitschr. **7.** 409. 1909; **8.** 197. 1910.
10) Diese Zeitschr. **9.** 212. 1911.
11) Berichte **38.** 3633. 1905.
12) Diese Zeitschr. **9.** 212. 1911.
13) Diese Zeitschr. **7.** 420. 1909.
14) Thomas, Inaug.-Diss. Freiburg i. Br. 1908, S. 36.
15) Münchener med. Wochenschr. **51.** 1585. 1904.
16) Diese Zeitschr. **8.** 208. 1910; Jahrb. f. Phot. 1911. 184.
17) Ann. d. Physik **24.** 252. 1907.
18) Berichte **42.** 790. 1909.


Kopenhagen, August 1913.

# Messungen im Bogenspektrum des Nickels nach internationalen Normalen.

Von

Siegmund Hamm.

(Auszug aus der Bonner Dissertation.)

## Einleitung.

Vorliegende Arbeit, die auf gütige Anregung von Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Kayser im physikalischen Institut der Universität Bonn ausgeführt worden ist, hat zum Zweck, die Werte der Wellenlängen von dem Bogenspektrum des Nickels nach den neuen internationalen Normalen zu geben. Da die Stellung, welche die Linien der Metallspektren einnehmen, eine chemische Eigenschaft von ebenso unwandelbarer und fundamentaler Natur ist, wie das Atomgewicht, so ist diese Entdeckung von wichtiger Bedeutung auf vielen Gebieten geworden. Sie hat zu einer neuen Wissenschaft, der Spektralanalyse geführt, deren erste Aufgabe es ist, die Spektren der einzelnen Elemente zu photographieren, indem auf die halbabgedeckte Platte das Eisenspektrum als Vergleichsspektrum geworfen wird, und relativ gegen die Eisenlinien, die als Normalen definitiv festgesetzt sind, zu messen und so für alle Zeiten die Linien genau festzulegen.

Erst in jüngster Zeit hat sich aber herausgestellt, daß die Werte einzelner Wellenlängen nicht absolut konstant sind. Goos hat gefunden, daß sogar im offenen Bogen unter Atmosphärendruck gewisse Linien sich verschieben können, und zwar hängt die Wellenlänge von der Länge des Bogens, der Stromstärke und der Stelle des Bogens ab, der man das Licht entnimmt. Er bestätigt diese Aussage durch eine Reihe interessanter Versuche. Da ich von den Resultaten Goos' erst Kenntnis erhielt, als ich mit meiner Arbeit fertig war, so habe ich auch diese schädlichen Einflüsse nicht besonders berücksichtigt und infolgedessen bei meinen Aufnahmen mehrere Linien im Gelbgrünen gefunden, deren Wert auf verschiedenen Platten variierte. Von den Schwierigkeiten, auf welche ich bei meinen Untersuchungen im gelbgrünen Teil des Bogenspektrums des Nickels gestoßen bin, werde ich weiter unten berichten.

## Ältere Messungen.

Einen Überblick über die gesamten spektroskopischen Arbeiten des Nickels zu geben, würde mich bei der ungeheueren Fülle dieser Messungen zu weit führen. Ich verweise auf H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie, Bd. VI, wo sämtliche früheren Messungen kurz angegeben sind. Von den älteren Messungen erwähne ich daher nur diejenigen Arbeiten, die besonders für das Bogenspektrum des Nickels in Betracht kommen.

Kirchhof war der erste, der Nickel spektroskopisch untersucht und im Funkenspektrum 33 Linien gefunden hat. Seine Arbeit ist auch dadurch wertvoll, daß er die Anwesenheit von Nickellinien unter den Fraunhoferschen Linien zeigt.

Zu diesen Kirchhoffschen Linien findet eine neue Linie Thalén, der die erste Messung nach Wellenlängen ausführt. Seine Arbeit erstreckt sich aber nur auf das sichtbare Spektrum von 617 bis 440.

Cornu, der den ultravioletten Teil des Sonnenspektrums untersucht, mißt bei dieser Gelegenheit zum ersten Male Linien des Bogens im Ultraviolett. In einer späteren Arbeit gibt er dann auch Messungen von Bogenlinien im Gelb an.

Die erste sorgfältige Messung des ultravioletten Bogen- und Funkenspektrums liefern Liveing und Dewar. Sie untersuchen auch gleichzeitig Co, dessen Hauptlinien ja stets im Spektrum des Nickels vorhanden sind, da sich Nickel und Kobalt schwer völlig trennen lassen.

Von besonderer Wichtigkeit sind die Messungen im Sonnenspektrum von Rowland. Hier findet er über 200 Nickellinien.

Dem Bogenspektrum wenden sich auch Exner und Haschek zu. Ferner mißt Hasselberg das Bogenspektrum von $\lambda$ 589 bis $\lambda$ 346.

Interessante Untersuchungen stellt Humphreys an. Er mißt die Druckverschiebung der Bogenlinien und kommt zu erstaunlichen Resultaten. Er findet für einige Linien eine reduzierte Verschiebung von 0,020 A. für 9,75 Atm., von 0,026 A. für 12,5 Atm. und von 0,039 A. für 14,5 Atm. In einer späteren Arbeit veröffentlicht er die Ergebnisse bei Anwendung eines höheren Druckes und erhält hier Verschiebungen bis zu 0,060 A. bei 69 Atm.

Reese war der erste, der die Ni-Linien auf Zeemaneffekt untersuchte. Weiterhin beobachten später Kent, Peterke und Nagaoka

und Takamine den Zeemaneffekt. Letztere finden beim longitudinalen Effekt Anomalien.

Ferner enthält der Atlas der Emissionsspektra von Hagenbach und Konen das Bogen- und Funkenspektrum des Nickels mit und ohne Selbstinduktion.

Eine kleine Photographie des roten Teiles des Bogenspektrums verdanken wir Lord Blythwood und Scoble. Sie zeigt Linien bis $\lambda$ 780.

Von weiteren Untersuchungen im Nickelspektrum sind zu erwähnen die Arbeiten von Geißler, welcher findet, daß eine ganze Reihe von Ni-Linien im Bogen anomale Dispersion erzeugt, ferner die Messungen Stütings nach internationalen Einheiten, die sich auf den roten Teil des Bogenspektrums zwischen 712 und 589 beziehen.

Weniger wertvoll sind die Untersuchungen von Coblentz über die ultrarote Strahlung des Bogens, der in Wasserstoffatmosphäre brennt. Er kommt zu keinen besonders wichtigen Resultaten.

Es folgen dann Untersuchungen von A. de Gramont über das Auftreten der „raies ultimes" im flash spectrum und später über die Restlinien von Mn, Fe, Ni und Co. Ebenso stellen Hartley und H. W. Moss Untersuchungen über Restlinien an.

Graftdyk beobachtet den Zeemaneffekt beim Nickel-, Kobalt- und Eisenspektrum.

## Eigene Messungen.

Bei meinen Untersuchungen benutzte ich chemisch reine Nickelstäbe von 10 mm Durchmesser, die ich von der Firma Dr. H. Geißler Nachf. in Bonn bezog. Da das Nickel einen sehr hohen Schmelzpunkt hat, so konnte ich die Stäbe bei meinen Aufnahmen direkt als Elektroden in der Bogenlampe verwenden. Den Lichtbogen erzeugte ich durch den städtischen Strom von 220 Volt Spannung und 6—7 Ampère-Intensität. Als Vergleichsspektrum diente das auf die Hälfte der Platte photographierte Spektrum des Eisenbogens.

Zu den photographischen Aufnahmen stand mir ein Rowlandsches Konkavgitter von 6,34 m Krümmungsradius zur Verfügung. Es besitzt 20000 Furchen pro Inch (= 2,54 cm), und seine Dispersion ist derart, daß bei Aufnahmen in zweiter Ordnung auf 1 mm der photographischen Platte 1 A.-E. entfällt. Die Gitteranordnung

entspricht im Prinzip der von Kayser, Spektroskopie, Bd. I, angegebenen.

Die scharfe Justierung des Gitters geschah auf photographischem Wege mit einem Eisenbogenlicht. Sie wurde in der Weise ausgeführt, daß auf ein Stück der halbabgedeckten Platte einige Minuten lang das Eisenspektrum geworfen wurde. Sodann wurde nach Beseitigung des Schiebers, welcher dazu diente, die obere Hälfte der Platte abzublenden, die ganze Platte noch einige Sekunden belichtet. Wenn die Entfernung von Spalt und Gitter, sowie die Parallelstellung von Spalt und Gitterfurchen richtig war, so mußten die Linien scharf sein, und die kurz belichteten Linien der oberen Hälfte der Platte ganz genau die Fortsetzung der länger belichteten unteren Hälfte bilden. Später ging ich dazu über, mit einem kleinen Bogen den Spalt zunächst oben und dann ebensolang unten zu belichten. Ich erhielt auf diese Weise auf der Platte zwei Bilder des Spaltes, die parallel übereinander lagen. War die Einstellung gut, so mußten die Linien scharf sein und genau parallel senkrecht übereinander liegen, da bei schiefem Spalt die Linien unbedingt gegeneinander verschoben sein mußten. Diese Methode zog ich der ersteren vor, da der Schieber, welcher immerhin eine Erschütterung der Kassette verursachen konnte, hierbei überflüssig wurde.

Als Lichtquelle benutzte ich eine Bogenlampe, welche sich in einem Gehäuse befand, das auf der Rückseite durch ein lose herabhängendes Tuch abgeschlossen war, damit ein Hineinstellen der Lampe ermöglicht wurde. An der Vorderseite war eine runde Öffnung angebracht, durch welche das Licht auf den Spalt fiel, nachdem es vorher durch eine Quarz- oder Glaslinse, je nach der Stelle im Spektrum, gesammelt worden war. Oben lief der Eisenblechkasten in einen Trichter aus, der durch Röhren mit einem Ventilator verbunden war. Durch einen bequemen Handregulator war es mir möglich, die Pole nach allen Seiten zu verschieben, so daß ich den Lichtbogen, dessen Länge im Durchschnitt 1 cm betrug, stets so einstellen konnte, daß das Licht genau auf die Mitte des Spaltes fiel. Zur Absorption des überlagernden Spektrums anderer Ordnung wurde, wo es nötig war, Glas oder ein planparalleles Absorptionsgefäß mit verdünnter Kaliumbichromatlösung in den Strahlengang eingeschaltet.

Die Expositionszeit schwankte zwischen den ziemlich weiten Grenzen von 7 Minuten und 3 Stunden. Von $\lambda = 570$ bis $\lambda = 250\,\mu\mu$ wurde das Spektrum in zweiter Ordnung photographiert, der übrige

Teil dagegen in erster Ordnung. Anfangs benutzte ich zu meinen Aufnahmen Platten der Kölner Firma Westendorp & Wehner. Ich ging aber bald dazu über, Dr. Schleußners Gelatineemulsionsplatten und orthochromatische Platten zu verwenden, da sie ein feineres Korn haben, obwohl ihre Empfindlichkeit nicht größer war. Für den roten Teil des Spektrums erzielte ich dagegen eine sehr hohe Empfindlichkeit, indem ich die Platten selbst sensibilisierte.

Bei meinen Aufnahmen ging ich nun so vor, daß die Platten sich immer zur Hälfte überdeckten, so daß ich jede Linie auf zwei verschiedenen Platten von verschiedener Stellung messen konnte. Zunächst verglich ich die einzelnen Platten, indem ich auf jeder Platte die schärfsten Linien maß, um eine Verschiebung der Nickellinien gegen die Eisenlinien festzustellen. Wo sich eine solche Abweichung zeigte, wiederholte ich die Aufnahme und erhielt so eine fortlaufende Kette sich aneinander anschließender Platten von $\lambda = 2165$ bis $\lambda = 4686$ A. Oberhalb $\lambda = 4686$ A. konnte ich keine Übereinstimmung erzielen. Die Verschiebung zu berechnen, war auch unmöglich, da die Differenz für die einzelnen Linien verschieden war. Ich wußte mir nicht anders zu helfen, als daß ich neue Aufnahmen machte, bei welchen ich das Spektrum vom Nickel und Eisen gleichzeitig auf die ganze Platte warf. Als positiven Pol nahm ich Nickel und als negativen Pol Eisen, und während der Aufnahme wechselte ich die Pole mehrere Male in gleichen Zeitabschnitten. Es hat diese Methode aber den Nachteil, daß die Eisennormalen bei zu langer Belichtung als breite verschwommene Balken auftreten und ein genaues Messen unmöglich machen. Merkwürdigerweise stellte sich jetzt beim Messen heraus, daß Linien zwischen denselben Normalen aber auf verschiedenen Platten teilweise übereinstimmten und teilweise sogar um einige Hundertstel Angströmeinheiten abwichen. Es ist also dieselbe Erscheinung, welche sich bei den verschiedenen Messungen im Eisenspektrum zeigte, und welche Goos darauf zurückführte, daß gewisse Linien auch bei offenem Bogen eine Verschiebung erleiden können. Mithin wird diese Abweichung seine Ursache darin haben, daß ich an diesen Stellungen die Bogenlänge stark variierte und auch vielleicht nicht genau die gleiche Stromstärke benutzte. Ich habe diese Linien in der Tabelle mit einem Sternchen versehen und gleichzeitig die Grenzwerte angegeben. Die Linie selbst ist das Mittel aus den abweichenden Werten.

Vielleicht ist auch hier der Grund für die Abweichungen Stütings gegen meine Messungen zu suchen. Bei ihm stimmen

einige Zahlen bis auf wenige Tausendstel genau mit meinen Angaben überein, während andere stark differieren. Herr Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Kayser war so liebenswürdig, mir die Platten Stütings zur Verfügung zu stellen, und es zeigte sich, daß seine Justierung gut war, daß aber die Platte einen schwarzen Untergrund hatte, so daß es mit Schwierigkeiten verbunden war, die gegen den Untergrund schlecht abstechenden Linien genau zu messen. Diesem Übelstand wird auch wohl zuzuschreiben sein, daß Stüting seine Linien fast sämtlich als unscharf angibt, während ich das von meinen Linien nicht behaupten kann. Daß auf meiner Platte die Nickellinien keine Verschiebung gegen die Eisennormalen hatten, stellte ich bei dieser Aufnahme in der ersten Ordnung dadurch fest, daß ich die Eisennormalen zweiter Ordnung auf die Platte warf. Ich konnte so die Eisennormale zweiter Ordnung $\lambda = 2941,347$ zwischen den Nickelnormalen erster Ordnung $\lambda = 5857,760$ und $\lambda = 5892,882$ messen und fand, daß die Linie bis auf 0,001 A. stimmte. Dies Verfahren durfte ich anwenden, da bei diesem Gitter sich die Linien erster und zweiter Ordnung genau decken.

Die Linien mit kleinerer Wellenlänge als 2373,737 A., der niedrigsten Fabry und Buissonschen Wellenlängennormalen, konnten nur durch Extrapolation gefunden werden. Sie können infolgedessen keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit haben. Ich gebe sie auf Tausendstel Angströmheiten an, weil ich bei meinen Messungen gute Übereinstimmungen bis zu Tausendstel Einheiten gefunden habe.

Die Messungen wurden auf einer Teilmaschine des physikalischen Instituts zu Bonn in der von Kayser, Handbuch der Spektroskopie Bd. I angegebenen Weise gemacht. Als Normalen dienten dabei von $\lambda = 6945$ bis $\lambda = 4282$ die internationalen, von $\lambda\,4233$ bis $\lambda = 2373$ die Normalen von Fabry und Buisson. Die Messungen sind das Mittel aus mehreren voneinander unabhängigen Messungen. Jede Messung besteht wiederum aus 4 Einstellungen, wobei durch Vorwärts- und Rückwärtsführen des Schlittens der tote Gang und durch eine halbe Umdrehung des Schraubenkopfes nach einmaligem Hin- und Hergang und neues Einstellen des Fadenkreuzes der periodische Fehler der Schraube eliminiert wurde. Die scharfen Linien stellte ich auf das Fadenkreuz des etwa zehnfach vergrößernden Mikroskops ein, während ich bei den umgekehrten Linien auf die Mitte des hellen Teiles einstellte. Verschwommene breite Linien wurden zwischen Fadenpaar gemessen. Dehnte ich

meine Messungen über größere Strecken hinaus, was besonders beim Extrapolieren der Fall war, so mußte ich eine Korrekturkurve der Spindel benutzen. Ferner soll nach Goos' Ansicht ein Fehler dadurch entstehen, daß die Platten so gemessen werden, als läge ein normales Spektrum vor, obwohl das Spektrum nur in der Mitte der Platte als normal anzusehen sei. Diesen Fehler, der übrigens in die Fehlergrenze fällt, habe ich aus dem Grunde nicht berücksichtigt, weil ich nur kurze Stücke der Platte gemessen und stets Messungen der rechten und linken Plattenhälfte kombiniert habe, wo die Fehler entgegengesetzt sind.

Zum Vergleich füge ich meinen Messungen die Werte von Hasselberg bei. Ferner habe ich die Angaben von Exner und Haschek zum Vergleich herangezogen. Die in ihrer Tabelle angegebenen Abkürzungen bedeuten: d = doppelt, r = nach Rot abschattiert, v = nach Violett abschattiert, br = breit, u = umgekehrt, + = unscharf. Sie geben eine große Anzahl Linien von der Intensität 1 + und 1 + br an, welche ich größtenteils nicht erhalten habe. Ebenso konnte ich trotz dreistündiger Belichtung oberhalb $\lambda = 4450$ A. sogar Linien, welche Exner und Haschek mit der Intensität 1 und 2 bezeichnen, auf meinen Platten nicht finden. Über die Belichtungsdauer von 3 Stunden bin ich nicht hinausgegangen, um eine Verschiebung zu vermeiden und um keine zu breiten verschwommenen Eisennormalen zu erhalten, da ich an den meisten Stellungen das Nickel- und Eisenspektrum gleichzeitig auf die Platte werfen mußte. Dagegen habe ich eine Reihe Linien gefunden, welche Hasselberg und Exner und Haschek nicht angeben, letztere höchstens in Funken.

Die Linien 5592,146; 5396,697; 4399,355; 3529,625, welche die Tabellen von Hasselberg und Exner und Haschek nicht enthalten, hat Rowland in der Sonne auch gefunden. Er gibt folgende Werte an: 5592,375; 5396,778; 4399,451; 3529,768. Ferner scheinen meine Linien 2381,834; 2251,467; 2238,430; 2211,267; 2197,308 den Werten 2381,6; 2251,4; 2238,2; 2211,4; 2197,2, welche Liveing und Dewar im Funken und Bogen angeben, zu entsprechen.

Da durch die spektroskopische Untersuchung die Anwesenheit von ganz minimalen Spuren eines Elements nachgewiesen werden kann, so ist es sehr natürlich, daß bei Verwendung der chemisch reinsten Elemente zahlreiche fremde Linien im Spektrum auftreten. Als Verunreinigungen fand ich bei meinen Aufnahmen Co, Cu, Fe, Mg, Mn und Zn. Um diese fremden Linien zu erkennen und zu

eliminieren, benutzte ich die Tabelle der Hauptlinien der Linienspektren von H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie Bd. VI und die Tabelle der Bogenspektren von Exner und Haschek, indem ich die dort angegebenen Zahlen auf die Werte im internationalen System umrechnete. Die Tabelle A enthält die gefundenen Werte. Ich gebe darin als Verunreinigung nur diejenigen Linien an, die ich mehrere Male und zwar auf verschiedenen Platten gemessen habe, so daß sie ebenfalls den Anspruch erheben können, bis auf einige Tausendstel Angströmeinheiten genau zu sein.

Die Intensitäten habe ich in den Zahlen 1—10 angegeben. Die Abkürzungen in meiner Tabelle bedeuten: u = unscharf, U = sehr unscharf, R = umgekehrt, r = nach Rot verbreitert, v = nach Violett verbreitert, W = die Linie ist nur als breiter Wisch zu sehen.

| Exner und Haschek Bogen | | Exner und Haschek Funke | | Hasselberg Bogen | Hamm Bogen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7122,54 | 1 | — | | — | 7122,276 | 6 | |
| 6914,83 | 1 | — | | — | 6914,562 | 5 | |
| 6842,3 | 1 + | — | | — | 6842,057 | 2 | |
| 6772,55 | 2 | — | | — | 6772,349 | 4 | |
| 67,99 | 5 | — | | — | 67,789 | 6 | |
| 6643,98 | 10 | 6643,90 | 1 | — | 6643,657 | 10 | |
| 35,32 | 3 | — | | — | 35,135 | 3 | |
| 6598,74 | 4 | — | | — | 6598,593 | 4 | |
| 92,69 | 2 + | — | | — | 92,472 | 3 | |
| 86,52 | 5 | — | | — | 86,325 | 5 | |
| 80,38 | 2 + | — | | — | 80,180 | 2 | u |
| 76,55 | 1 + br | — | | — | 76,332 | 1 | u |
| 33,11 | 3 | — | | — | 32,889 | 3 | |
| 02,53 | 1 + | — | | — | 02,251 | 1 | u |
| 6483,08 | 6 | 6483,05 | 1 + | — | 6482,822 | 7 | |
| — | | — | | — | 40,971 | 1 | |
| 25,18 | 2 + | — | | — | 24,90 | 2 | u |
| 21,68 | 10 | — | | — | 21,50 | 5 | u |
| 14,88 | 6 | — | | — | 14,634 | 5 | |
| 6384,90 | 8 | — | | — | 6384,690 | 5 | u |
| 78,40 | 15 | — | | — | 78,248 | 7 | |
| 70,61 | 3 | — | | — | 70,390 | 4 | |
| 66,61 | 10 | — | | — | 66,479 | 7 | |
| 64,78 | 1 | — | | — | 64,597 | 1 | |
| — | | — | | — | 62,414 | 5 | |
| 60,93 | 8 | — | | — | 60,804 | 5 | |
| 39,40 | 20 | 6339,4 | 1 + br | — | 39,164 | 10 | |
| 27,79 | 5 | — | | — | 27,619 | 5 | |
| 22,31 | 3 | — | | — | 22,154 | 3 | |
| 18,21 | 1 | — | | — | — | | |
| 16,7 | 1 + br | — | | — | — | | |
| 14,89 | 15 | 14,93 | 1 | — | 14,666 | 10 | |
| 14,3 | 1 + br | — | | — | — | | |
| — | | — | | — | 00,363 | 1 | |

| Exner und Haschek Bogen | | Exner und Haschek Funke | | Hasselberg Bogen | | Hamm Bogen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6272,95 | 1 | — | | — | | 6272,650 | 1 |
| 72,10 | 1 | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | | 62,610 | 1 |
| 59,79 | 3+ | — | | — | | 59,582 | 3 |
| 58,87 | 3 | — | | — | | 58,619 | 4 |
| 56,60 | 8 | 6256,60 | 1 | — | | 56,357 | 7 |
| 30,33 | 4 | — | | — | | 30,107 | 4 |
| 24,18 | 8 | — | | — | | 23,968 | 6 |
| 04,78 | 5 | — | | — | | 04,635 | 3 |
| — | | — | | — | | 6197,379 | 1 |
| 6191,48 | 8 | 6191,41 | 1 | — | | 91,198 | 6 |
| 89,27 | 1+ | — | | — | | — | |
| 87,00 | 8 | — | | — | | 86,736 | 6 |
| 84,11 | 1 | — | | — | | 83,892 | 1 |
| 80,25 | 1+ | — | | — | | — | |
| 77,70 | 1 | — | | — | | — | |
| 77,41 | 3 | — | | — | | 77,258 | 3 |
| 77,00 | 30 | 76,98 | 2 | — | | 76,802 | 10 |
| 75,69 | 20 | 75,65 | 1+br | — | | 75,426 | 9 |
| 70,76 | 3 | — | | — | | 70,549 | 3 |
| 63,60 | 10 | 63,5 | 1+br | — | | 63,381 | 5 u |
| 42,26 | 1+ | — | | — | | 42,047 | 1 |
| 37,95 | 1+ | — | | — | | — | |
| 36,85 | 1+ | — | | — | | — | |
| 34,2 | 1+br | — | | — | | — | |
| 30,40 | 6 | — | | — | | 30,170 | 3 |
| 29,19 | 3 | — | | — | | 28,992 | 3 |
| 20,02 | 2 | — | | — | | 19,794 | 2 |
| 16,35 | 20 | 16,4 | 1+br | — | | 16,164 | 8 |
| 11,22 | 5+ | — | | — | | 11,03 | 4 u |
| 08,36 | 8 | 08,37 | 1 | — | | 08,140 | 7 |
| 6093,37 | 1+ | — | | — | | — | |
| 86,53 | 20r | 6086,6 | 1+br | — | | 6086,326 | 8r |
| 53,91 | 4 | — | | — | | 53,689 | 3 |
| 30,89 | 2 | — | | — | | — | |
| 25,95 | 1+ | — | | — | | — | |
| 12,48 | 2 | — | | — | | 12,252 | 5 |
| 07,54 | 3 | — | | — | | 07,313 | 3 |
| 5997,80 | 3+ | — | | — | | 5997,583 | 2 u |
| 97,02 | 4+ | — | | — | | 96,768 | 3u |
| 24,23 | 2 | — | | — | | 23,954 | 1 |
| 06,70 | 1+ | — | | — | | 06,477 | 1u |
| 5893,11 | 10 | 5893,13 | 1 | 5893,13 | 5 | 5892,882 | 9 |
| 88,56 | 1 | — | | — | | — | |
| 64,14 | 1+ | — | | — | | — | |
| 58,00 | 20 | 58,05 | 1+ | 58,03 | 4 | 57,760 | 9 |
| 47,20 | 3 | — | | 47,26 | 2 | 47,006 | 3 |
| 31,82 | 10 | — | | — | | 31,594 | 5r |
| 05,40 | 15 | — | | 05,45 | 4 | 05,211 | 7 |
| 5798,45 | 1+br | — | | — | | — | |
| 96,32 | 1 | — | | 5796,35 | 2 | — | |
| 82,36 | 4(Cu) | — | | — | | — | |
| 81,00 | 1+ | — | | — | | — | |
| 61,03 | 8 | 5761,05 | 1+br | 61,10 | 5 | 5760,843 | 4 |
| 54,89 | 8 | 54,90 | 1 | 54,86 | 6 | 54,659 | 5 |
| 49,45 | 1+ | — | | — | | — | |
| 48,58 | 3 | — | | 48,57 | 3 | 48,352 | 3 |

| Exner und Haschek Bogen | | Exner und Haschek Funke | | Hasselberg Bogen | | Hamm Bogen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5715,29 | 10 | 5715,33 | 1 | 5715,31 | 6 | 5715,092 | 7 |
| 12,10 | 5 | 12,12 | 1 | 12,10 | 6 | 11,890 | 6 |
| 09,76 | 10 | 09,75 | 2 | 09,80 | 7 | 09,555 | 6 |
| 00,44 | 2(Cu ?) | — | | — | | — | |
| 5695,19 | 10 | 5695,20 | 1 + | 5695,22 | 6u | 5694,979 | 5u |
| 91,72 | 1 | — | | — | | — | |
| 89,39 | 1 | — | | — | | — | |
| 82,42 | 8 | 82,38 | 1 | 82,44 | 7u | 82,189 | 7 |
| 70,18 | 2 | 70,15 | 1 + | 70,22 | 4 | 69,937 | 3 |
| 64,23 | 3 | 64,20 | 1 + | 64,28 | 5 | 64,023 | 3 |
| — | | 58,35 | 1 + | — | | — | |
| 49,89 | 3 | 49,88 | 1 + | 49,90 | 5 | 49,676 | 4 |
| 43,30 | 2 | — | | 43,31 | 3u | 43,100 | 2 |
| 42,83 | 1 + | — | | — | | — | |
| 42,10 | 3 | — | | 42,08 | 3 | — | |
| 41,34 | 1 + | — | | — | | 41,112 | 1 |
| 38,99 | 1 + | — | | 39,02 | 3 | — | |
| 37,33 | 3 | 37,35 | 1 +br | 37,32 | 4 | 37,123 | 4 |
| 28,55 | 2 | — | | 28,62 | 3 | 28,351 | 3 |
| 25,52 | 8 | 25,52 | 1 + | 25,56 | 6 | 25,279 | 7 |
| 15,01 | 6 | 15,01 | 1 | 15,00 | 6 | 14,779 | 6 |
| 07,26 | 1 + | — | | — | | — | |
| 00,30 | 4 | — | | 00,29 | 4 | 00,132 | 4 |
| 5593,99 | 8 | 5593,95 | 1 + | 5594,00 | 6 | 5593,711 | 6 |
| 92,49 | 8 | 92,40 | 2 + | 92,44 | 7 | 92,250 | 7 |
| — | | — | | — | | 92,146 | 1 |
| 91,00 | 1 + | — | | — | | — | |
| 89,58 | 4 | — | | 89,64 | 4u | 89,322 | 4 |
| 88,09 | 5 | 88,10 | 1 | 88,12 | 5 | 87,853 | 5 |
| 78,94 | 5 | 78,93 | 1 | 78,98 | 5 | 78,712 | 5 |
| 53,93 | 3 | 53,6 | 1 +br | 53,97 | 4 | 53,687 | 4 |
| 37,31 | 1 + | — | | — | | — | |
| 21,62 | 1 + | — | | — | | — | |
| 15,00 | 1 + | — | | — | | — | |
| 10,20 | 6 | 10,22 | 1 + | 10,28 | 5 | 09,994 | 5 |
| 04,31 | 2 | — | | 04,50 | 3 | 04,125 | 2 |
| 5499,6 | 1 +br | — | | — | | — | |
| 99,0 | 1 +br | — | | — | | — | |
| 95,15 | (3) | 5495,15 | 1 + | 5495,20 | 3 | 5494,901 | 3 |
| — | | — | | — | | 94,792 | 1 |
| 93,53 | 1 + | — | | — | | — | |
| 83,55 | 2 | — | | — | | 83,382 | 2 |
| 81,10 | 2 | — | | — | | 80,875 | 2 |
| 78,05 | 1 | — | | — | | — | |
| 77,12 | 30 | 77,10 | 10 | 77,13 | 10 | 76,911 | 10 |
| 75,77 | 1 + | — | | — | | — | |
| 69,55 | 1 + | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | | 68,719 | 1 |
| 68,32 | 2 | — | | 68,42 | 2 | 68,136 | 2 |
| 62,69 | 5 | — | | 62,71 | 4 | 62,479 | 4 |
| 60,70 | 1 | — | | — | | — | |
| 53,50 | 2 + | — | | — | | — | |
| 53,00 | 1 + | — | | — | | — | |
| 36,08 | 8 | 36,10 | 1 + | 36,10 | 5 | 35,866 | 6 |
| 30,5 | 1 +br | — | | — | | — | |
| 29,05 | 1 + | — | | — | | — | |
| 24,87 | 5 | 24,85 | 1 + | 24,85 | 4 | 24,652 | 4 |

| Exner und Haschek Bogen | | Exner und Haschek Funke | | Hasselberg Bogen | | Hamm Bogen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5411,41 | 8 | 5411,40 | 1+ | 5411,45 | 4 | 5411,202 | 4 |
| — | | — | | — | | 5396,697 | 1 |
| 5392,55 | 3 | — | | 5392,68 | 2 | 92,365 | 2 |
| 88,54 | 2 | — | | 88,71 | 2 | 88,370 | 2 |
| 78,1 | 1+br | — | | — | | — | |
| 77,80 | 1 | — | | — | | — | |
| 76,4 | 1+br | — | | — | | — | |
| 71,60 | 8(Fe) | — | | 71,64 | 5 | — | |
| 53,60 | 4(Co) | — | | — | | — | |
| 47,80 | 1+ | — | | — | | — | |
| 46,98 | 1+ | — | | — | | — | |
| 5281,85 | 2 | — | | — | | — | |
| 68,52 | 4 | — | | 5268,59 | 2 | 5268,351 | 3 |
| 65,90 | 2 | — | | — | | 65,717 | 2 |
| 59,72 | 1+ | — | | — | | — | |
| 55,52 | 1 | — | | — | | 55,334 | 1 |
| 49,15 | 1+ | — | | — | | — | |
| 48,55 | 1+ | — | | — | | — | |
| 45,77 | 1+ | — | | — | | — | |
| 43,93 | 1+ | — | | — | | — | |
| 35,61 | 4 | — | | — | | 35,384 | 2 |
| 20,30 | 5 | — | | 20,51 | 2 | 20,031 | 6 |
| 16,72 | 3 | — | | 16,72 | 2 | 16,512 | 2 |
| — | | — | | — | | 5197,537 | 1 |
| 5197,33 | 3 | — | | 5197,40 | 2 | 97,173*(163; 182) | 2 |
| 96,76 | 1 | — | | — | | — | |
| 92,66 | 3(Fe) | — | | 92,70 | 2 | — | |
| 88,02 | 1 | — | | — | | — | |
| 86,73 | 2 | — | | 86,80 | 2 | — | |
| 84,78 | 5+ | 5184,8 | 1+ | 84,78 | 3 | 84,590*(582; 598) | 3 |
| 79,30 | 2 | — | | — | | — | |
| 76,72 | 8 | 76,70 | 1+ | 76,73 | 4 | 76,564*(554; 573) | 5 |
| 72,88 | 3(Mg) | — | | — | | — | |
| 68,81 | 10 | 68,79 | 1+ | 68,83 | 5 | 68,662*(651; 672) | 6 |
| 67,63 | 3(Fe) | — | | — | | — | |
| 58,16 | 2 | — | | 58,20 | 2 | 58,014 | 2 |
| 55,90 | 10 | 55,90 | 1 | 55,92 | 7u | 55,761 | 8 |
| 55,31 | 3+ | — | | 55,34 | 4u | 55,163 | 4u |
| — | | — | | 53,43 | 4 | — | |
| 48,82 | 1 | — | | — | | — | |
| 46,61 | 20 | 46,60 | 2 | 46,64 | 8u | 46,481 | 7 |
| 42,91 | 15 | 42,89 | 1+ | 42,96 | 7u | 42,769 | 5 |
| 39,43 | 4Fe | — | | — | | — | |
| 37,23 | 8 | 37,23 | 1 | 37,23 | 8 | 37,098 | 8 |
| 31,93 | 4 | — | | 31,94 | 3u | 31,770 | 3 |
| 30,53 | 2 | — | | 30,55 | 2 | 30,389 | 2 |
| 29,55 | 10 | 29,52 | 1+ | 29,52 | 6 | 29,394 | 7 |
| 28,20 | 1+ | — | | — | | — | |
| 25,38 | 8Fe | — | | 25,39 | 5 | 25,187 | 6 |
| 21,75 | 3 | — | | 21,74 | 3 | 21,603 | 3 |
| 15,57 | 10 | 15,60 | 2 | 15,55 | 8 | 15,428 | 8 |
| 03,15 | 3 | — | | 03,13 | 4 | 02,987*(979; 994) | 4 |
| 00,12 | 8r | 00,16 | 1+ | 00,13 | 7u | 5099,976 | 7u |
| 5099,51 | 4 | 5099,54 | 1+ | 5099,00 | 5 | 99,358 | 5 |
| — | | — | | — | | 99,099 | 1 |
| 97,07 | 4 | — | | 97,06 | 4u | 96,894*(884; 903) | 4 |
| 94,59 | 3 | — | | 94,61 | 2 | 94,424 | 2 |

| Exner und Haschek Bogen | | Funke | | Hasselberg Bogen | | Hamm Bogen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5089,10 | 2 | — | | 5089,13 | 2 | 5088,968 | 2 |
| 88,66 | 2 | — | | 88,74 | 2 | 88,551 | 2 |
| 85,62 | 2 | — | | — | | — | |
| 84,20 | 5+ | 5084,21 | 1+ | 84,23 | 8u | 84,068*(060; 076) | 7u |
| 82,52 | 3 | 82,50 | 1+ | 82,55 | 8u | 82,383 | 4 |
| 81,29 | 8 | 81,30 | 3 | 81,30 | 10u | 81,121 | 10u |
| 80,70 | 8 | 80,70 | 3 | 80,70 | 10 | 80,530 | 9 |
| 80,15 | 2 | — | | 80,16 | 3 | 79,983 | 3 |
| 76,50 | 2 | — | | — | | | |
| 68,98 | 2 | — | | — | | — | |
| 68,00 | 1 | — | | — | | — | |
| — | | 66,60 | 1+ | — | | — | |
| 58,18 | 3 | — | | 58,22 | 2 | — | |
| 53,45 | 1 | — | | — | | — | |
| 51,71 | 3 | — | | 51,74 | 2U | — | |
| 49,00 | 5 | 48,99 | 1+ | 49,01 | 5u | 48,845*(836; 854) | 4 |
| 48,25 | 2 | — | | — | | 48,086 | 1 |
| 42,37 | 5 | — | | 42,35 | 5u | 42,176*(164; 188) | 4 |
| 41,20 | 2 | — | | — | | — | |
| 39,50 | 3 | — | | — | | 39,266 | 2r |
| 38,75 | 4 | 38,75 | 1+ | 38,80 | 4 | 38,587*(577; 596) | 4 |
| 36,11 | 5+ | — | | — | | 35,956 | 3U |
| 35,52 | 20 | 35,51 | 3 | 35,55 | 10 | 35,361*(351; 370) | 10 |
| 32,92 | 2 | — | | — | | 32,770 | 1u |
| 26,68 | 1 | — | | — | | — | |
| 22,77 | 1+ | — | | — | | — | |
| 18,48 | 5+ | 18,49 | 1+ | 18,50 | 4U | 18,304 | 3u |
| 17,73 | 8 | 17,73 | 2 | 17,75 | 7 | 17,608 | 7 |
| 14,40 | 3 | — | | — | | 14,253 | 1 |
| 12,64 | 4 | 12,62 | 1 | 12,62 | 4 | 12,471 | 4 |
| 11,13 | 3+ | — | | 11,11 | 3u | 10,973 | 3u |
| 10,21 | 3 | — | | 10,22 | 2 | 10,049 | 2 |
| — | | — | | — | | 04,354 | 1 |
| 03,92 | 2 | — | | 03,92 | 2 | 03,753*(745; 761) | 2 |
| 00,51 | 8 | 00,48 | 1+ | 00,48 | 5u | 00,340*(328; 351) | 5 |
| 4998,40 | 2 | 4998,42 | 1+ | 4998,42 | 4 | 4998,250*(243; 256) | 4 |
| 97,01 | 2 | — | | 97,04 | 2u | 96,845*(836; 854) | 2u |
| 84,31 | 10 | 84,30 | 2 | 84,30 | 7 | 84,123*(111; 135) | 8 |
| 80,34 | 10 | 80,35 | 2 | 80,36 | 7 | 80,169*(157; 181) | 8 |
| 76,50 | 1+ | — | | 76,54 | 2 | 76,341*(331; 349) | 2 |
| 76,30 | 1+ | — | | — | | 76,137*(130; 144) | 1u |
| 71,50 | 3 | 71,50 | 1+ | 71,54 | 3 | 71,341*(330; 351) | 3 |
| 67,70 | 1 | — | | — | | 67,551*(545; 557) | 1 |
| 65,31 | 1 | — | | — | | — | |
| 53,38 | 3 | 53,40 | 1 | 53,34 | 3 | 53,234 | 3 |
| 52,46 | 1 | — | | — | | 52,334 | 1u |
| 46,17 | 1+ | — | | 46,02 | 2 | 46,034 | 3 |
| 45,62 | 2 | — | | 45,63 | 3u | 45,473 | 2u |
| 37,45 | 5+ | 37,45 | 1+br | 37,51 | 4U | 37,330 | 4U |
| 36,00 | 5 | 36,01 | 2 | 36,02 | 4 | 35,851 | 4 |
| 34,21 | 1 | — | | — | | 34,006 | 2u |
| 30,97 | 1 | — | | — | | 30,821 | 1 |
| 25,72 | 3 | 25,77 | 1+ | 25,74 | 3 | 25,584 | 3 |
| 18,86 | 1 | — | | 18,86 | 2 | — | |
| 18,52 | 3 | 18,55 | 2+ | 18,53 | 5 | 18,366*(358; 373) | 4 |
| 14,10 | 3 | 14,15 | 1+ | 14,15 | 4u | 13,961 | 3 |
| 12,19 | 3 | 12,25 | 1+ | 12,22 | 3u | 12,026 | 2 |

| Exner und Haschek Bogen | | Exner und Haschek Funke | | Hasselberg Bogen | | Hamm Bogen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4904,67 | 10 | 4904,61 | 3 | 4904,56 | 7 | 4904,404*(396; 409) | 8 |
| 01,15 | 1 | — | | — | | — | |
| 4887,18 | 2 | 4887,2 | 1 + br | 4887,16 | 3 | 4886,997 | 3 |
| 74,97 | 2 | — | | 74,95 | 2 | 74,803 | 2 |
| 73,62 | 8 | 73,64 | 2 + | 73,60 | 4 | 73,450*(439; 461) | 5 |
| 71,01 | 3 | 71,1 | 1 + | 70,97 | 4 | 70,842*(832; 851) | 4 |
| 66,47 | 8 | 66,49 | 2 | 66,42 | 7 | 66,281*(274; 288) | 7 |
| 64,49 | 2 | — | | 64,46 | 2u | 64,285 (273; 296) | 2u |
| 64,10 | 2 | — | | 64,11 | 3u | 63,913 | 2u |
| — | | — | | — | | 57,833 | 1 |
| 57,57 | 3 | 57,60 | 1 + | 57,57 | 3 | 57,390 | 3 |
| 55,59 | 10 | 55,60 | 3 + | 55,57 | 6 | 55,417*(410; 424) | 7 |
| 53,92 | 1 + | — | | — | | — | |
| 52,77 | 2 + | 52,8 | 1 + | 52,70 | 3u | 52,572*(562; 581) | 2u |
| 45,35 | 1 + | — | | — | | — | |
| 43,30 | 1 | — | | 43,27 | 2 | 43,156 | 2 |
| 42,19 | 1 + | — | | — | | — | |
| — | | 40,43 | 1 | — | | — | |
| 38,78 | 3 | 38,82 | 2 + | 38,80 | 4 | 38,667*(658; 675) | 4 |
| — | | — | | — | | 38,527 | 1 |
| 36,95 | 1 + | — | | — | | — | |
| 36,45 | 1 + | — | | — | | — | |
| 36,08 | 1 | — | | — | | — | |
| 34,90 | 1 + | — | | — | | — | |
| 33,93 | 1 + | — | | — | | — | |
| 32,90 | 3 | 32,90 | 1 + | 32,86 | 3 | 32,703*(696; 709) | 3 |
| 31,37 | 5 | 31,39 | 3 | 31,30 | 5 | 31,187 | 5 |
| 29,20 | 10 | 29,21 | 3 + | 29,18 | 6 | 29,038 | 7 |
| — | | — | | — | | 24,523 | 1 |
| 21,32 | 2 | 21,35 | 1 + | 21,29 | 2 | 21,137 | 2 |
| 18,00 | 2 + | 18,03 | 1 + br | 17,97 | 2 | 17,831 | 2 |
| 16,10 | 1 + | — | | — | | — | |
| 14,80 | 1 | 14,85 | 1 + | 14,77 | 2 | — | |
| 13,13 | 1 + | — | | — | | 12,952 | 2 |
| 12,19 | 2 | 12,20 | 1 + | 12,15 | 2 | — | |
| 09,11 | 1 | 09,0 | 1 + | 09,05 | 2 | — | |
| 08,70 | 1 + | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | | 08,152 | 1 |
| 07,20 | 3 | 07,20 | 2 | 07,17 | 4 | 06,991 | 4 |
| 00,01 | 2 | 00,00 | 1 + | — | | — | |
| 4799,65 | 1 + | — | | — | | — | |
| 96,02 | 1 | — | | — | | — | |
| 93,65 | 1 | — | | — | | — | |
| 92,98 | 1 | — | | 4792,98 | 2 | — | |
| 91,18 | 1 | — | | — | | — | |
| 87,49 | 1 | — | | — | | — | |
| 86,75 | 15 | 4786,75 | 3 | 86,66 | 6 | 4786,541 | 7 |
| 86,47 | 1 | — | | 86,42 | 2 | 86,281 | 2 |
| 73,62 | 1 | — | | 73,55 | 2 | — | |
| 73,08 | 1 | — | | — | | — | |
| 68,28 | 1 | — | | — | | — | |
| 64,15 | 3 | 64,22 | 2 | 64,07 | 4 | 63,954 | 4 |
| 62,82 | 2 | 62,85 | 1 | 62,78 | 3 | 62,626 | 2 |
| 58,60 | 1 | — | | — | | — | |
| 56,70 | 8 | 56,70 | 3 | 56,70 | 6 | 56,259 | 7 |
| 54,92 | 3 | 54,97 | 1 | 54,95 | 3 | 54,776 | 3 |
| 52,59 | 3 | 52,60 | 1 + | 52,58 | 4 | 52,413 | 4 |

| Exner und Haschek Bogen | | Funke | | Hasselberg Bogen | | Hamm Bogen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4752,29 | 2 | 4752,4 | 1 + | 4752,30 | 3 | 4752,114 | 3 |
| 40,31 | 2 | — | | — | | — | |
| 36,68 | 1 + | — | | — | | — | |
| 35,00 | 1 + | — | | — | | — | |
| 33,40 | 1 | — | | — | | — | |
| 32,63 | 3 | 32,66 | 1 | 32,66 | 4 | 32,465 | 4 |
| 31,98 | 3 | 32,01 | 1 | 32,00 | 4 | 31,795 | 4 |
| 29,43 | 2 | — | | 29,50 | 2 | — | |
| 28,60 | 1 + | — | | — | | — | |
| 28,02 | 2 | — | | 28,06 | 2 | — | |
| 27,63 | 2 | — | | — | | 27,464 | 2 |
| 24,00 | 1 + | — | | — | | — | |
| — | | 22,32 | 1 | — | | — | |
| 20,62 | 1 | — | | — | | — | |
| 19,25 | 1 | — | | — | | — | |
| 15,95 | 10 | 15,92 | 3 | 15,93 | 6 | 15,757 | 7 |
| 14,60 | 15 | 14,60 | 8 r | 14,59 | 9 | 14,416 | 9 |
| 12,22 | 2 | 12,25 | 1 + | 12,24 | 2 | 12,055 | 2 |
| 06,10 | 1 | — | | — | | — | |
| 05,68 | 1 | — | | — | | — | |
| 03,97 | 5 | 03,98 | 1 + | 03,96 | 5 u | 03,786 | 5 |
| 01,70 | 8 v | 01,77 | 1 + | 01,72 | 4 | 01,541 | 4 |
| — | | — | | 01,52 | 2 | — | |
| 00,43 | 1 + | — | | — | | — | |
| 4698,60 | 2 | 4698,60 | 1 + | — | | — | |
| 95,67 | 1 | — | | — | | — | |
| 91,08 | 1 | — | | — | | — | |
| 86,39 | 6 | 86,42 | 3 | 4686,39 | 5 | 4686,209 | 5 |
| 75,74 | 2 | — | | 75,80 | 2 | — | |
| 74,90 | 2 | — | | — | | — | |
| 71,83 | 1 + | — | | — | | — | |
| 68,80 | 1 | — | | — | | — | |
| 67,92 | 2 | 67,98 | 1 | 67,96 | 4 | 67,760 | 3 |
| 67,12 | 2 | 67,20 | 1 + | 67,16 | 3 | 66,988 | 3 |
| — | | 65,75 | 1 + | — | | — | |
| 62,77 | 1 + | — | | — | | — | |
| 58,10 | 1 + | — | | — | | — | |
| 57,55 | 1 + | — | | — | | — | |
| 55,83 | 2 | 55,89 | 1 | 55,85 | 2 | — | |
| 53,48 | 1 | — | | — | | — | |
| 48,85 | 15 | 48,81 | 3 | 48,82 | 6 | 48,656 | 7 |
| 47,53 | 2 | — | | 47,47 | 3 | — | |
| 44,2 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 39,8 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 38,1 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 34,85 | 1 + | — | | — | | — | |
| 31,3 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 29,52 | 2 Co? | — | | — | | — | |
| 25,88 | 1 + | — | | — | | — | |
| 20,55 | 1 | — | | — | | — | |
| 18,11 | 1 | — | | 18,22 | 3 | — | |
| 14,75 | 1 + | — | | 14,85 | 2 | — | |
| 10,2 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 06,38 | 3 | 06,4 | 1 + | 06,37 | 5 | 06,218 | 4 |
| 05,17 | 10 | 05,20 | 3 | 05,15 | 8 | 04,990 | 9 |
| 00,56 | 8 | 00,59 | 1 | 00,51 | 8 | 00,364 | 8 |
| 4596,07 | 2 + | — | | 4596,11 | 6 | 4595,929 | 4 v |

| Exner und Haschek Bogen | | Exner und Haschek Funke | | Hasselberg Bogen | | Hamm Bogen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4595,08 | 2 | 4595,1 | 1 + | 4595,07 | 4 u | 4594,896 | 5 u |
| 92,72 | 10 | 92,77 | 4 | 92,69 | 7 | 92,532 | 7 |
| 90,25 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 88,85 | 1 | — | | — | | — | |
| 84,53 | 1 | — | | — | | — | |
| 80,78 | 2 | 80,70 | 1 | 80,77 | 3 | 80,608 | 3 |
| 74,20 | 1 + | — | | — | | — | |
| 67,59 | 1 | — | | 67,59 | 2 | 67,415 | 1 |
| 66,75 | 1 + (Co) | — | | — | | — | |
| 60,11 | 2 | 60,2 | 1 + | 60,10 | 4 | 59,935 | 3 |
| 54,71 | 1 | — | | — | | — | |
| 53,30 | 2 | — | | 53,37 | 3 | 53,162 | 3 |
| 51,49 | 2 | 51,48 | 1 | 51,45 | 4 | 51,234 | 3 |
| 49,81 | 2 (Co) | — | | — | | 49,663 | 1 |
| 47,38 | 3 | 47,40 | 1 + | 47,44 | 5 | 47,231 | 4 |
| 47,11 | 3 | 47,11 | 2 | 47,14 | 4 | 46,943 | 4 |
| 42,5 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 37,48 | 1 + | — | | — | | — | |
| 34,90 | 1 | — | | — | | — | |
| 22,07 | 1 | — | | — | | 21,924 | 1 |
| 20,15 | 3 | 20,20 | 1 | 20,20 | 5 | 19,993 | 4 |
| 17,97 | 1 | — | | — | | — | |
| 13,13 | 2 | 13,20 | 1 | 13,20 | 4 | 13,005 | 3 |
| 11,48 | 5 | — | | — | | — | |
| 09,56 | 1 | 09,5 | 1 + | — | | 09,389 | 5 |
| 06,46 | 1 | — | | 06,53 | 2 | 06,302 | 1 |
| 01,84 | 1 | — | | — | | 01,692 | 1 |
| 4492,50 | 1 | — | | — | | — | |
| 90,70 | 2 | — | | 4490,71 | 4 u | 4490,530 | 3 |
| 84,70 | 1 | — | | — | | — | |
| 81,39 | 1 | — | | 81,30 | 2 u | — | |
| 80,80 | 2 | — | | — | | 80,581 | 3 |
| 79,59 | 1 | — | | — | | 79,404 | 1 |
| 71,35 | 1 | — | | — | | — | |
| 70,64 | 10 | 4470,66 | 3 | 70,61 | 8 | 70,485 | 8 |
| 68,10 | 1 | — | | — | | 67,936 | 2 |
| 67,10 | 1 | — | | — | | 66,902 | 2 |
| 66,50 | 2 | — | | 66,54 | 4 | 66,396 | 3 |
| 63,60 | 2 | — | | 63,57 | 4 | 63,423 | 3 |
| 62,63 | 8 | 62,64 | 3 | 62,59 | 8 | 62,459 | 8 |
| 59,96 | 1 | — | | — | | — | |
| 59,18 | 10 | 59,22 | 8 | 59,21 | 9 | 59,049 | 9 |
| 50,34 | 2 | — | | 50,44 | 2 | — | |
| — | | — | | 50,29 | 2 | — | |
| 45,87 | 1 + | — | | — | | — | |
| 42,58 | 3 | — | | 42,61 | 4 | 42,431 | 4 |
| 41,60 | 1 | — | | 41,64 | 2 | — | |
| 37,78 | 3 | 37,75 | 1 + | 37,75 | 4 | 37,578 | 4 |
| 37,15 | 3 | 37,15 | 1 + | 37,17 | 5 | 36,983 | 4 |
| 35,50 | 1 | — | | — | | — | |
| 34,02 | 1 + | — | | — | | — | |
| 33,38 | 1 + | — | | — | | — | |
| 31,87 | 1 + | — | | — | | — | |
| 31,30 | 1 + | — | | — | | — | |
| 25,00 | 1 + | — | | — | | — | |
| 23,19 | 2 | — | | 23,24 | 3 | 23,004 | 3 |
| 19,90 | 1 | — | | — | | 19,777 | 1 |

| Exner und Haschek | | | | Hasselberg | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | |
| 4419,30 | 1 | — | | — | | — | |
| 10,66 | 5 + | 4410,65 | 1 + | 4410,70 | 5 u | 4410,495 | 5 u |
| 09,25 | 1 | — | | — | | — | |
| 06,08 | 1 | — | | — | | 05,948 | 1 |
| 02,45 | 1 | — | | — | | — | |
| 01,75 | 15 | 01,70 | 8 r | 01,70 | 9 | 01,553 | 9 |
| 01,02 | 2 | 01,02 | 1 | 01,02 | 4 | 00,870 | 3 |
| 00,42 | 1 | — | | — | | — | |
| 4399,78 | 3 | 4399,80 | 1 + | 4399,75 | 4 | 4399,610 | 4 |
| — | | — | | — | | 99,355 | 1 |
| 98,80 | 2 | 98,80 | 1 + | 98,78 | 2 | 98,628 | 2 |
| 97,42 | 1 + | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | | 97,152 | 1 |
| 97,05 | 1 + | — | | — | | — | |
| 96,04 | 1 + | — | | — | | — | |
| 95,40 | 1 + | — | | — | | — | |
| 92,64 | 1 | — | | — | | — | |
| 92,45 | 1 | — | | — | | — | |
| 92,07 | 1 | — | | — | | — | |
| 90,55 | 2 | 90,60 | 1 + | 90,47 | 3 u | 90,331 | 2 u |
| 90,05 | 2 | 90,05 | 1 + | 90,00 | 4 | 89,863 | 3 |
| 88,48 | 1 | — | | — | | — | |
| 86,65 | 2 | 86,65 | 1 + | 86,62 | 3 u | 86,470 | 2 u |
| 84,70 | 3 | 84,74 | 1 | 84,68 | 5 | 84,543 | 4 |
| 83,0 | 1 + br | — | | 83,05 | 2 | 82,896 | 1 |
| 80,9 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 80,2 | 1 + br | — | | — | | — | |
| 79,25 | 1 | — | | — | | — | |
| 76,04 | 2 | — | | — | | — | |
| 75,02 | 1 | — | | — | | — | |
| 73,74 | 1 + | — | | — | | — | |
| 72,35 | 1 + | — | | — | | — | |
| 70,20 | 2 | — | | 70,21 | 3 u | 70,047 | 3 |
| 68,47 | 2 | — | | 68,45 | 4 | 68,313 | 3 |
| 67,5 | 1 + | — | | — | | — | |
| — | | 62,30 | 1 | — | | — | |
| 59,76 | 5 | 59,78 | 2 | 59,73 | 6 | 59,586 | 6 |
| 58,0 | 1 + | — | | — | | — | |
| 56,07 | 3 | 56,05 | 1 + | 56,07 | 4 u | 55,914 | 3 |
| 55,30 | 1 | — | | — | | — | |
| 31,83 | 3 | 31,83 | 2 | 31,78 | 6 | 31,638 | 6 |
| 30,90 | 1 | — | | 30,85 | 5 | 30,723 | 4 |
| 25,78 | 2 | — | | 25,75 | 5 | 25,606 | 4 |
| 25,52 | 1 | — | | 25,49 | 3 u | 25,373 | 3 |
| 07,51 | 1 | — | | 07,40 | 3 | 07,281 | 3 |
| — | | — | | 4298,94 | 2 | — | |
| 4298,67 | 1 | — | | 98,68 | 3 | 4298,517 | 3 |
| — | | — | | 97,15 | 2 | — | |
| 96,05 | 2 | 4296,07 | 1 | 96,06 | 6 | 95,899 | 6 |
| 88,15 | 3 | 88,20 | 2 | 88,16 | 7 | 88,009 | 7 u |
| 84,84 | 2 | 84,86 | 1 | 84,83 | 5 | 84,676 | 5 |
| — | | 79,37 | 1 + | — | | — | |
| 75,26 | 1 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 52,25 | 2 | — | |
| — | | 44,96 | 1 + | — | | — | |
| 36,5 | 1 + | — | | 36,55 | 3 | 36,375 | 2 |
| — | | 35,45 | 1 + | — | | — | |

| Exner und Haschek | | | | Hasselberg | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | |
| 4231,19 | 2 | 4231,3 | 1+ | 4231,23 | 4 | 4231,052 | 3 |
| — | | — | | 21,87 | 9 | — | |
| — | | — | | — | | 02,569 | 1 |
| 02,32 | 1 | — | | 02,33 | 2 | 02,154 | 2 |
| 01,89 | 2 | — | | 01,88 | 5 | 01,728 | 5 |
| 00,60 | 2 | 00,63 | 1+ | 00,61 | 4 | 00,466 | 4 |
| — | | — | | — | | 4199,644 | 1 |
| 4195,72 | 2 | 4195,90 | 1+ | 4195,71 | 5 | 95,533 | 5 |
| — | | 92,23 | 1+ | — | | — | |
| 84,65 | 1 | 84,6 | 1+ | 84,65 | 3 | 84,473 | 4 |
| 67,81 | 1+ | — | | — | | — | |
| 67,07 | 1+ | — | | 67,16 | 3u | 66,96 | 3u |
| 64,80 | 1 | — | | 64,82 | 2 | 64,636 | 3 |
| 52,45 | 1+ | — | | — | | — | |
| 50,53 | 1+ | — | | 50,55 | 3 | 50,37 | 2u |
| — | | — | | 43,12 | 2 | — | |
| 42,49 | 1+ | — | | 42,47 | 4 | — | |
| — | | — | | 38,67 | 2 | — | |
| 23,94 | 1 | — | | 23,96 | 2 | 23,792 | 2 |
| — | | — | | 21,48 | 6 | — | |
| 16,11 | 1 | 16,10 | 1 | 16,14 | 4 | 15,980 | 3 |
| — | | — | | 04,37 | 2 | — | |
| 4098,30 | 1 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 4086,30 | 2 | — | |
| — | | — | | 75,75 | 3u | — | |
| 75,00 | 1 | — | | 75,05 | 3 | 4074,897 | 1 |
| — | | — | | 73,08 | 2 | — | |
| — | | — | | 69,39 | 2 | — | |
| — | | 4067,20 | 3 | — | | — | |
| 64,55 | 1 | — | | 64,55 | 4 | 64,380 | 2 |
| — | | — | | 57,45 | 2 | — | |
| — | | — | | 46,91 | 2 | — | |
| 27,8 | 1+br | — | | — | | 27,64 | 1U |
| 26,47 | 1 | — | | — | | — | |
| 25,6 | 1+br | — | | 25,26 | 3 | 25,44 | 1U |
| 24,15 | 1+br | | | — | | 23,99 | W |
| 22,8 | 1+br | — | | 22,20 | 2 | — | |
| — | | — | | 19,20 | 3 | 19,055 | 3 |
| 17,67 | 1+ | — | | 17,65 | 4U | 17,56 | 2U |
| — | | 15,65 | 1 | — | | — | |
| — | | — | | 10,14 | 3 | — | |
| 06,30 | 1 | — | | 06,30 | 4 | 06,138 | 1 |
| — | | — | | 3995,45 | 7 | — | |
| 3994,15 | 1+ | — | | 94,13 | 4U | 3993,97 | 1U |
| 87,25 | 1 | — | | — | | 87,090 | 2 |
| 86,97 | 1 | — | | — | | 86,818 | 2 |
| 84,29 | 1+ | — | | 84,18 | 4U | 84,17 | 4U |
| 78,78 | 1 | — | | — | | 78,642 | 1 |
| 74,82 | 2+ | — | | 74,83 | 4U | 74,681 | 3v |
| 73,71 | 4 | 3973,75 | 2 | 73,70 | 8 | 73,547 | 7 |
| 72,32 | 2r | 72,32 | 1 | 72,31 | 5 | 72,157 | 4 |
| 70,65 | 2+ | — | | 70,65 | 4U | 70,49 | 4U |
| 62,25 | 1+ | — | | — | | 62,10 | W |
| 54,7 | 1+ | — | | 54,61 | 3U | 54,53 | W |
| 44,29 | 2+ | — | | 44,25 | 5U | 44,10 | 5U |
| 42,00 | 1+ | 41,95 | 1+ | — | | — | |
| 17,25 | 1+ | — | | — | | 17,125 | 1 |

| Exner und Haschek | | | | Hasselberg | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | |
| — | | — | | 3914,65 | 2 | — | |
| 3913,14 | 1 | — | | 13,12 | 4 | 3912,975 | 3 |
| 12,47 | 1 + | — | | 12,44 | 3 U | 12,31 | 3 u |
| 09,10 | 1 + | — | | 09,10 | 3 U | 08,93 | 3 u |
| 06,45 | 1 | — | | — | | 06,295 | 1 |
| — | | — | | 05,67 | 3 ? | — | |
| — | | 3894,23 | 2 (Co ?) | — | | — | |
| 3889,84 | 2 | 89,80 | 2 | 3889,80 | 5 | 3889,673 | 5 |
| — | | 82,7 | 1 | — | | — | |
| — | | — | | 71,73 | 3 | — | |
| — | | 63,23 | 1 | 63,21 | 5 | — | |
| 58,51 | 20 | 58,50 | 8 | 58,40 | 9 R | 58,284 | 10 |
| — | | 49,69 | 2 | — | | — | |
| — | | — | | 44,71 | 3 | — | |
| — | | — | | 44,40 | 3 U | — | |
| 34,00 | 1 | — | | — | | 33,851 | 1 |
| 33,00 | 1 | 33,05 | 1 | 33,2 | 4 | 32,865 | 3 |
| — | | — | | 32,44 | 5 | — | |
| 31,89 | 5 | 31,87 | 2 | 31,82 | 6 | 31,685 | 6 |
| — | | — | | 29,49 | 5 | — | |
| 24,03 | 1 | — | | — | | — | |
| 23,68 | 2 | — | | — | | — | |
| 12,20 | 1 + | — | | — | | — | |
| — | | — | | 11,46 | 2 | — | |
| 08,26 | 1 | — | | — | | 08,102 | 1 |
| 07,35 | 8 | 07,29 | 8 | 07,30 | 8 | 07,135 | 8 |
| 3793,79 | 3 | 3793,70 | 1 | 3793,75 | 6 | 3793,599 | 6 |
| 92,48 | 2 | 92,44 | 1 | 92,48 | 5 | 92,325 | 4 |
| 90,36 | 1 | — | | — | | 90,206 | 2 |
| 83,72 | 8 | 83,67 | 5 | 83,67 | 8 | 83,521 | 8 |
| 78,20 | 1 | 78,18 | 1 | 78,22 | 3 | 78,048 | 4 |
| 75,75 | 8 | 75,74 | 5 | 75,71 | 9 | 75,562 | 9 |
| 72,67 | 2 | 72,65 | 1 | 72,70 | 5 | 72,518 | 4 |
| 71,94 | 1 + | — | | — | | 71,796 | 1 |
| 69,60 | 1 | 69,62 | 5 | 69,58 | 2 | 69,448 | 2 |
| 68,38 | 1 + | — | | — | | — | |
| 62,76 | 1 | — | | 62,76 | 4 | 62,623 | 3 |
| 57,47 | 1 | — | | — | | — | |
| 54,57 | 1 | — | | — | | — | |
| 49,19 | 3 | 49,18 | 1 Cr ? | 49,15 | 4 | 49,042 | 4 |
| 44,72 | 2 | 44,75 | 1 | 44,68 | 5 | 44,560 | 4 |
| 39,94 | 1 d | — | | 39,89 | 2 | 39,787 | 1 |
| 39,40 | 3 | 39,38 | 2 | 39,36 | 5 | 39,229 | 4 |
| 36,98 | 4 | 36,96 | 3 | 36,94 | 7 | 36,811 | 7 |
| 30,90 | 1 | — | | 30,88 | 3 | 30,745 | 3 |
| 29,06 | 1 | — | | 29,05 | 2 | 28,919 | 2 |
| 24,95 | 1 | 24,99 | 1 | 24,95 | 3 | 24,815 | 3 |
| 22,64 | 5 | 22,62 | 1 | 22,63 | 6 | 22,484 | 6 |
| 15,65 | 1 | — | | 15,61 | 3 | 15,498 | 1 |
| 13,84 | 1 | — | | 13,87 | 2 | 13,696 | 2 |
| 13,50 | 1 | — | | 13,49 | 2 | 13,336 | 2 |
| 3697,05 | 1 | 3697,1 | 1 + | 3697,04 | 2 | 3696,904 | 2 |
| 94,07 | 3 | — | | 94,10 | 4 | 93,933 | 4 |
| 89,43 | 1 | — | | — | | 89,308 | 1 |
| 88,59 | 3 | 88,57 | 2 | 88,58 | 5 | 88,413 | 4 |
| — | | — | | 83,65 | 2 | — | |
| 74,30 | 6 | 74,29 | 3 | 74,28 | 7 | 74,105 | 7 |

| Exner und Haschek | | | | Hasselberg | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | |
| 3670,60 | 4 | 3670,59 | 2 | 3670,57 | 5 | 3670,424 | 5 |
| 69,40 | 3 | 69,39 | 1 | 69,38 | 4 | 69,233 | 4 |
| 68,36 | 1 | 68,35 | 1+ | 68,35 | 2 | 68,200 | 2 |
| 66,16 | 1 | — | | — | | 65,918 | 1 |
| 64,75 | 1 | — | | — | | — | |
| 64,27 | 4 | 64,26 | 3 | 64,24 | 6 | 64,089 | 5 |
| 62,10 | 2 | 62,11 | 1 | 62,10 | 4 | 61,938 | 3 |
| 57,87 | 1 | — | | — | | 57,698 | 1 |
| 56,71 | 1 | — | | — | | 56,528 | 1 |
| — | | — | | — | | 55,868 | 1 |
| 49,63 | 1 | — | | — | | — | |
| 47,85 | 1+ | — | | — | | — | |
| 44,07 | 1 | — | | 44,13 | 2? | 43,941 | 1 |
| 42,52 | 1 | — | | 42,58 | 2? | 42,383 | 1 |
| 41,75 | 1 | — | | 41,78 | 3 | 41,632 | 2 |
| 35,10 | 2 | 35,07 | 1 | 35,10 | 4 | 34,943 | 3 |
| 30,01 | 1 | 30,00 | 1+ | 30,04 | 3 | 29,891 | 2 |
| — | | 27,98 | 1+ | — | | — | |
| 24,89 | 3d | 24,89 | 2 | 24,87 | 6 | 24,733 | 6 |
| 19,52 | 50r | 19,54 | 15 | 19,52 | 10R | 19,391 | 10R |
| 12,90 | 6 | 12,91 | 3 | 12,86 | 7 | 12,732 | 7 |
| 11,59 | 1+ | — | | 11,58 | 2 | 11,418 | 1 |
| 10,61 | 10 | 10,68 | 4 | 10,60 | 8R | 10,45 | 8u |
| 09,48 | 5 | 09,49 | 2 | 09,44 | 5 | 09,312 | 5 |
| 07,00 | 1 | 07,02 | 1+ | 07,02 | 2 | 06,853 | 2 |
| 04,41 | 1 | — | | — | | 04,076 | 1 |
| 02,41 | 5 | 02,44 | 2 | 02,41 | 5 | 02,278 | 5 |
| 3599,66 | 1 | — | | — | | 3599,530 | 1 |
| 97,86 | 10 | 3597,86 | 6 | 3597,84 | 7u | 97,699 | 7R |
| 88,07 | 4 | 88,07 | 2 | 88,08 | 5 | 87,928 | 5 |
| 85,29 | 2+ | — | | — | | 85,150 | 2 |
| 77,36 | 1 | — | | 77,37 | 2 | — | |
| — | | 76,91 | 3 | — | | — | |
| 76,08 | 1 | — | | — | | — | |
| 72,02 | 10 | 72,06 | 3 | 71,99 | 7R | 71,871 | 7R |
| 66,51 | 20 | 66,55 | 10 | 66,50 | 9R | 66,373 | 10R |
| — | | 65,15 | 1+ | — | | — | |
| 61,90 | 3 | 61,92 | 2 | 61,91 | 4 | 61,752 | 4 |
| 60,05 | 1 | 60,10 | 1+ | 60,08 | 2 | 59,925 | 2 |
| 53,64 | 3 | 53,65 | 1 | 53,63 | 4 | 53,483 | 4 |
| 51,71 | 3 | 51,70 | 1 | 51,66 | 5 | 51,536 | 4 |
| 48,32 | 6 | 48,32 | 3 | 48,34 | 5 | 48,189 | 5 |
| 45,30 | 1 | — | | — | | — | |
| 42,14 | 1 | — | | — | | — | |
| 37,72 | 1+ | — | | — | | 37,634 | 1 |
| 37,35 | 1 | 37,4 | 1+ | — | | 37,243 | 1 |
| — | | — | | 33,89 | 2U | — | |
| 30,73 | 2 | — | | 30,73 | 3 | 30,588 | 3 |
| — | | — | | 29,76 | 2 | 29,625 | 1 |
| 29,02 | 1 | 29,12 | 1 | 29,03 | 3 | 28,890 | 3 |
| 28,70 | 1 | 28,99 | 1 | — | | 28,622 | 1 |
| 28,13 | 4 | 28,10 | 2 | 28,13 | 5 | 27,988 | 5 |
| 26,67 | 4 | — | | — | | — | |
| 24,68 | 50 | 24,69 | 15 | 24,65 | 10R | 24,543 | 10R |
| 23,61 | 3 | — | | — | | 23,445 | 3 |
| 23,23 | 1 | — | | 23,19 | 3 | 23,075 | 1 |
| 19,97 | 4 | 19,90 | 3 | 19,90 | 6 | 19,776 | 5 |

| Exner und Haschek | | | | Hasselberg | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | |
| 3518,80 | 3 | 3518,76 | 1 | 3518,80 | 4 | 3518,635 | 4 |
| — | | — | | — | | 18,019 | 1 |
| 16,33 | 2 | 16,32 | 1 | 16,35 | 4 | 16,220 | 3 |
| 15,21 | 30 | 15,21 | 10 | 15,17 | 9R | 15,057 | 9R |
| 14,10 | 5 | 14,13 | 8 | 14,06 | 5 | 13,947 | 5 |
| 13,64 | 2(Co) | — | | — | | 13,483 | 2 |
| 12,08 | 1 | — | | — | | — | |
| 11,76 | 1 | 11,8 | 1+ | — | | 11,613 | 1 |
| 10,52 | 15 | 10,52 | 10 | 10,47 | 8R | 10,340 | 7R |
| 07,85 | 4 | 07,84 | 1 | 07,85 | 4 | 07,695 | 4 |
| 02,73 | 4 | 02,74 | 1 | 02,76 | 4 | 02,604 | 4 |
| 01,02 | 6 | 01,01 | 4 | 10,00 | 6 | 00,852 | 6 |
| 3499,35 | 1 | — | | — | | 3499,110 | 1 |
| 96,81 | 1 | — | | — | | 96,679 | 1 |
| 96,47 | 2 | 3496,49 | 1 | 3496,50 | 2 | 96,352 | 2 |
| 94,84 | 1 | — | | — | | 94,703 | 1 |
| 93,11 | 30 | 93,13 | 10 | 93,10 | 9R | 92,965 | 10R |
| 88,43 | 1 | — | | — | | 88,293 | 1 |
| 86,09 | 4 | 86,05 | 2 | 86,04 | 5 | 85,892 | 5 |
| 85,25 | 1 | — | | — | | 85,112 | 1 |
| 83,98 | 8 | 83,95 | 4 | — | | 83,776 | 6R |
| 82,87 | 1 | — | | — | | — | |
| 80,30 | 1 | 80,32 | 1+ | 80,36 | 2 | 80,170 | 2 |
| 79,36 | 1 | 79,48 | 1+ | 79,43 | 2 | 79,263 | 2 |
| 78,42 | 1 | 78,5 | 1+ | 78,48 | 2 | 78,302 | 2 |
| 78,00 | 1 | 78,0 | 1+ | — | | 77,876 | 1 |
| — | | — | | — | | 75,775 | 1 |
| 76,80 | 1 | — | | — | | — | |
| 72,71 | 10 | 72,71 | 5 | 72,68 | 7R | 72,545 | 7R |
| 71,50 | 1 | 71,50 | 2 | — | | 71,364 | 1 |
| — | | — | | — | | 71,217 | 1 |
| 69,65 | 5 | 69,61 | 2 | 69,64 | 5 | 69,484 | 5 |
| 67,77 | 2 | — | | — | | 67,730 | 3 |
| 67,61 | 4 | 67,63 | 2 | 67,63 | 5 | 67,505 | 5 |
| 67,25 | 1+ | — | | — | | — | |
| — | | 65,77 | 1 | — | | — | |
| — | | 62,95 | 1 | 62,95 | 2? | — | |
| 61,80 | 20 | 61,84 | 10 | 61,78 | 8R | 61,660 | 10R |
| 58,60 | 20 | 58,62 | 10 | 58,59 | 8R | 58,467 | 10R |
| 55,35 | 1 | — | | — | | 55,239 | 1 |
| — | | 54,29 | 2 | — | | — | |
| 53,02 | 10 | 53,06 | 5 | — | | 52,891 | 6R |
| 46,40 | 30 | 46,41 | 10 | — | | 46,263 | 10R |
| 44,36 | 2 | 44,38 | 1+ | — | | 44,247 | 2 |
| 43,74 | 1 | 43,76 | 1 | — | | — | |
| 43,03 | 1 | — | | — | | 42,926 | 1 |
| 42,67 | 1 | — | | — | | 42,540 | 1 |
| 42,17 | 1 | — | | — | | 42,017 | 1 |
| 37,45 | 8 | 37,42 | 5 | — | | 37,283 | 6R |
| 35,63 | 1 | — | | — | | 35,495 | 1 |
| 33,74 | 15 | 33,70 | 6 | — | | 33,565 | 9R |
| 23,87 | 10 | 23,88 | 5 | — | | 23,713 | 8R |
| 23,00 | 1 | 22,97 | 1+ | — | | 22,870 | 1 |
| 22,47 | 1 | 22,49 | 1+ | — | | 22,334 | 1 |
| 21,49 | 3 | 21,47 | 1 | — | | 21,339 | 3 |
| 20,88 | 2 | 20,87 | 1 | — | | 20,742 | 2 |
| 14,91 | 30u | 14,91 | 10 | — | | 14,771 | 10R |

| Exner und Haschek | | | | Hamm | | Exner und Haschek | | | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | | Funke | | Bogen | |
| 3414,12 | 4 | 3414,05 | 2 | 3413,943 | 3 R | 3310,35 | 2 | 3310,36 | 1 | 3310,206 | 2 |
| 13,66 | 5 | 13,61 | 3 | 13,478 | 5 R | — | | — | | 09,600 | 1 |
| 09,74 | 5 | 09,70 | 1 | 09,579 | 5 | 09,56 | 1 | — | | 09,439 | 1 + |
| — | | 07,43 | 2 | — | | 07,16 | 1 | — | | 07,014 | 1 |
| 03,58 | 3 | 03,45 | 1 Cr? | 03,427 | 3 | 05,10 | 2 | 05,10 | 1 | 04,951 | 2 |
| — | | 01,90 | 1 | — | | 3296,42 | 1 | — | | 3296,264 | 1 |
| 01,31 | 3 | 01,30 | 1 | 01,164 | 3 | 93,83 | 1 | 3293,80 | 1 + | 93,674 | 1 |
| 3397,37 | 1 | — | | 3397,279 | 2 | — | | — | | 92,832 | 1 |
| 96,31 | 2 | 3396,25 | 1 + | 96,174 | 2 | 87,36 | 1 + Co? | — | | 87,228 | 1 |
| — | | 95,49 | 1 | — | | 87,08 | 4 | 87,06 | 1 | 86,953 | 4 |
| 93,10 | 20 u | 93,16 | 8 | 92,993 | 10 R | — | | — | | 85,308 | 1 |
| 91,20 | 10 | 91,20 | 4 | 91,051 | 7 R | 84,56 | 1 | — | | 84,432 | 1 |
| 89,5 | 1 + | — | | 89,358 | 1 R | — | | — | | 84,344 | 1 |
| 88,26 | 1 | 88,28 | 1 + | 88,175 | 2 | 83,65 | 1 + | — | | 83,464 | 1 + |
| 87,54 | 1 | — | | 87,467 | 1 | 82,96 | 3 | 82,97 | 1 + | 82,819 | 3 |
| 85,34 | 1 | — | | 85,228 | 1 | 82,81 | 3 | 82,85 | 1 | 82,701 | 3 |
| 81,01 | 3 | 81,04 | 2 | 80,885 | 4 R | 82,03 | 2 | 82,01 | 1 | 81,876 | 2 |
| 80,71 | 10 u | 80,74 | 6 | 80,577 | 10 R | 79,96 | 1 | — | | 79,819 | 1 |
| 76,46 | 1 | 76,47 | 1 | 76,330 | 1 | 77,35 | 1 + | — | | — | |
| 75,70 | 1 | — | | 75,560 | 1 | 76,66 | 1 + | — | | — | |
| 74,82 | 4 | 74,77 | 3 | 74,637 | 5 | — | | 75,03 | 1 | — | |
| 74,42 | 4 | 74,36 | 2 | 74,228 | 4 R | 73,62 | 1 + | — | | — | |
| — | | 74,13 | 2 | — | | 71,25 | 4 | 71,26 | 1 V? | 71,118 | 4 |
| 72,19 | 6 | 72,14 | 3 | 71,995 | 5 R | 69,08 | 1 | — | | — | |
| 69,71 | 15 u | 69,71 | 4 | 69,576 | 10 R | 68,21 | 1 | — | | 68,087 | 1 |
| 68,98 | 1 | — | | 68,818 | 1 | 64,56 | 1 | — | | — | |
| 68,05 | 3 | 68,02 | 1 | 67,892 | 2 | 50,90 | 5 | 50,90 | 2 | 50,749 | 3 |
| 66,95 | 3 | 66,92 | 2 | 66,808 | 3 | 49,55 | 3 | 49,55 | 1 | 49,440 | 2 |
| 66,32 | 5 | 66,31 | 3 | 66,169 | 5 R | 48,56 | 4 | 48,57 | 1 | — | |
| 65,92 | 5 | 65,90 | 3 | 65,771 | 4 R | 45,47 | 1 + | — | | — | |
| 64,75 | 2 | 64,72 | 1 | 64,590 | 2 | 43,20 | 8 | 43,20 | 3 | 43,064 | 8 R |
| 63,76 | 2 | 63,74 | 1 | 63,612 | 2 | 35,86 | 1 | — | | 35,764 | 1 |
| 62,97 | 2 | 62,94 | 1 | 62,808 | 2 | 34,78 | 5 | 34,76 | 2 | 34,658 | 5 R |
| 62,28 | 1 | — | | — | | 34,00 | 1 | — | | — | |
| 61,75 | 6 | 61,71 | 3 | 61,557 | 5 R | 33,28 | 2 + | — | | 33,173 | 2 + |
| 61,44 | 1 | 61,40 | 1 Ti? | 61,240 | 1 | 33,06 | 10 | 33,05 | 3 | 32,945 | 8 R |
| 59,30 | 2 | 59,24 | 1 | 59,104 | 3 | 27,11 | 4 | 27,14 | 1 | 26,992 | 3 |
| 54,55 | 1 | — | | 54,384 | 1 | 25,19 | 6 | 25,18 | 2 | 25,030 | 5 R |
| — | | 50,56 | 1 | — | | 23,66 | 1 | 23,7 | 1 + | 23,542 | 1 |
| — | | 39,7 | 1 + br | 39,510 | 1 | — | | — | | 23,274 | 1 |
| 39,20 | 1 | — | | 39,049 | 1 + | 21,81 | 5 | 21,80 | 2 | 21,661 | 4 R |
| 38,90 | 1 | — | | 38,763 | 1 | 21,41 | 3 | 21,43 | 1 | 21,279 | 3 |
| 37,98 | 1 | — | | — | | 19,92 | 1 | — | | 19,810 | 1 |
| 37,15 | 1 | — | | 37,015 | 1 | 17,93 | 4 | 17,95 | 2 | 17,828 | 5 |
| 35,72 | 1 + | — | | — | | 16,93 | 3 | 16,95 | 1 | 16,823 | 3 |
| 34,31 | 1 | — | | 34,152 | 1 | 14,17 | 4 | 14,21 | 1 | 14,064 | 4 |
| 32,31 | 2 + | — | | 32,190 | 2 r | 13,53 | 2 | — | | 13,435 | 10 |
| 28,85 | 2 | — | | 28,720 | 1 | — | | — | | 12,889 | 1 |
| 27,52 | 1 | 27,6 | 1 + | 27,402 | 1 | 10,00 | 1 | 10,04 | 1 + | 09,910 | 1 |
| 26,80 | 1 | 26,85 | 1 + | 26,673 | 1 | 07,05 | 1 | — | | 06,963 | 1 |
| 22,50 | 8 | 22,46 | 3 | 22,316 | 5 | 02,21 | 3 | 02,27 | 1 | 02,149 | 2 |
| 21,36 | 1 | — | | 21,244 | 1 | 00,50 | 3 | — | | 00,433 | 2 |
| 20,92 | 2 | 20,95 | 1 + | 20,787 | 2 | 3199,44 | 1 + | — | | 3199,361 | 1 + |
| 20,42 | 8 | 20,41 | 3 | 20,259 | 5 R | 97,22 | 5 | 3197,24 | 2 Cr? | 97,121 | 4 |
| 15,82 | 10 | 15,80 | 3 | 15,668 | 7 R | 95,67 | 3 | 95,71 | 1 | 95,577 | 2 |
| 13,15 | 2 | 13,12 | 1 | 12,992 | 2 | 94,20 | 1 | — | | 94,103 | 1 |
| 12,49 | 3 | 12,46 | 2 | 12,319 | 4 | 91,97 | 1 | — | | 91,890 | 1 |

| Exner und Haschek | | | | Hamm | | Exner und Haschek | | | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | | Funke | | Bogen | |
| 3184,50 | 4 | 3184,49 | 1 | 3184,372 | 4 | 2983,56 | 2 | — | | 2983,422 | 2 |
| — | | 83,89 | 1 | — | | 81,80 | 8 | 2981,81 | 3 | 81,652 | 6 |
| 83,40 | 2 | — | | 83,258 | 2 | 73,84 | 1 | — | | 73,733 | 1 |
| 83,14 | 2 | — | | 83,048 | 2 | 69,30 | 1 | 69,32 | 1 | 69,196 | 1 |
| 81,89 | 3 | 81,87 | 1 | 81,750 | 3 | 61,30 | 2 | — | | — | |
| 76,44 | 1 | — | | 76,302 | 1 | 58,39 | 1 | — | | 58,287 | 1 |
| 70,86 | 1 | — | | 70,725 | 1 | 49,30 | 1 | — | | 49,218 | 3 |
| 65,64 | 1 | — | | 65,513 | 1 | — | | 47,56 | 1 | — | |
| 64,30 | 1 | — | | 64,169 | 1 | 44,06 | 6 | 44,03 | 2 | 43,922 | 6 |
| 59,65 | 1 | — | | 59,524 | 1 | 32,74 | 1 | — | | 32,632 | 2 |
| 54,68 | 1 | — | | 54,582 | 1 | 31,03 | 1 | — | | 30,934 | 1 |
| 51,33 | 1 | — | | 51,292 | 1 | 17,60 | 1 + | — | | 17,525 | 1 u |
| 45,82 | 3 | 45,83 | 1 | 45,707 | 4 | 16,95 | 1 + | — | | 16,846 | 1 u |
| 45,23 | 1 | — | | 45,117 | 1 | 14,12 | 2 | 14,11 | 1 | 14,013 | 2 |
| 37,43 | 1 | — | | 37,333 | 1 | — | | 13,71 | 2 | — | |
| 34,22 | 30 | 34,21 | 4 | 34,106 | 10 R | 07,58 | 3 | — | | 07,462 | 3 |
| 32,68 | 1 | — | | — | | — | | 07,10 | 1 | — | |
| 29,42 | 3 | 29,40 | 1 | 29,310 | 3 | 05,85 | 1 | — | | 05,764 | 1 |
| 21,55 | 1 +d | — | | 21,423 | 1 | — | | 2886,75 | 1 + | — | |
| 16,84 | 1 | — | | 16,700 | 1 + | 2868,85 | 1 | — | | 2868,756 | 1 |
| 14,26 | 5 | 14,25 | 2 | 14,128 | 6 | 65,61 | 2 | 65,63 | 1 | 65,508 | 5 |
| 07,83 | 2 | — | | 07,717 | 2 | — | | 64,4 | 1 +br | — | |
| 05,60 | 5 | 05,60 | 2 | 05,466 | 5 | — | | 63,84 | 2 | — | |
| 01,99 | 10 u | 02,02 | 3 | 01,881 | 8 R | 49,93 | 1 | — | | 49,842 | 1 |
| 01,67 | 10 u | 01,70 | 4 | 01,563 | 8 R | — | | 42,55 | 1 | — | |
| 3099,25 | 4 | 3099,26 | 2 | 3099,117 | 4 | 39,05 | 1 | — | | 38,971 | 2 |
| — | | — | | 97,568 | 1 | 34,66 | 2 | 34,66 | 1 | 34,550 | 3 |
| 97,27 | 5 | 97,26 | 2 | 97,120 | 5 | 24,49 | 2 | — | | — | |
| 97,00 | 1 + | — | | 96,804 | 1 r | 21,42 | 4 | 21,45 | 2 | 21,296 | 4 |
| — | | 87,20 | 2 | — | | 14,48 | 2 | — | | 14,371 | 3 |
| 80,91 | 5 | 80,90 | 2 | 80,758 | 6 | 12,50 | 1 + | — | | 12,369 | 1 u |
| 76,01 | 1 | — | | 75,907 | 2 | — | | 08,47 | 1 | — | |
| 66,59 | 1 | — | | 66,459 | 1 | — | | 05,80 | 2 | — | |
| 64,75 | 6 | 64,76 | 2 | 64,626 | 6 | 05,20 | 2 | 05,20 | 1 | 05,081 | 3 |
| — | | 64,12 | 1 + | — | | 03,25 | 1 | — | | 03,153 | 1 |
| 63,53 | 1 | — | | 63,417 | 3 | 02,40 | 2 | 02,4 | 1 + | 02,278 | 3 |
| 57,76 | 15 u | 57,79 | 4 | 57,647 | 10 R | 2798,78 | 3 | 2798,75 | 1 | 2798,651 | 4 |
| 56,33 | 1 | — | | — | | — | | 94,93 | 1 | — | |
| 54,42 | 10 | 54,46 | 4 | 54,317 | 8 R | — | | 91,01 | 1 | — | |
| 50,92 | 20 u | 50,99 | 6 | 50,828 | 10 R | — | | 75,45 | 1 +br | — | |
| 48,98 | 1 | — | | 48,895 | 1 | 70,15 | 1 | — | | 70,059 | 1 |
| 45,15 | 4 | 45,16 | 1 | 45,012 | 4 | — | | 68,9 | 1 +br | 68,871 | 1 |
| 38,04 | 15 u | 38,09 | 4 | 37,940 | 9 R | 66,50 | 1 | — | | — | |
| 36,19 | 1 | — | | — | | — | | 60,82 | 1 | — | |
| 31,98 | 3 | 32,00 | 1 | 31,869 | 3 | — | | 59,15 | 1 +br | — | |
| 29,36 | 1 | — | | 29,298 | 1 | — | | 53,45 | 1 | — | |
| 19,28 | 4 | 19,27 | 2 | 19,150 | 5 | 46,85 | 3 | 46,85 | 1 | 46,745 | 4 |
| 18,09 | 1 | — | | 17,964 | 1 | — | | 43,1 | 1 + | — | |
| 12,11 | 15 u | 12,14 | 5 | 12,007 | 9 R | — | | 08,9 | 1 +brCr: | — | |
| 10,96 | 1 | — | | — | | 05,55 | 1 | 05,83 | 1 | 05,467 | 1 |
| 03,70 | 10 u | 03,76 | 4 | 03,628 | 9 R | 01,98 | 1 | — | | 01,892 | 1 |
| 02,58 | 15 u | 02,65 | 5 | 02,492 | 10 R | 01,20 | 1 + | — | | 01,086 | 1 u |
| 2994,58 | 8 | 2994,60 | 3 | 2994,458 | 7 R | 2696,60 | 2 | 2696,66 | 1 | 2696,495 | 2 |
| 92,71 | 6 | 92,75 | 2 | 92,597 | 6 | — | | 90,8 | 1 + | — | |
| 91,22 | 2 | — | | 91,103 | 3 | — | | 84,57 | 2 +br | — | |
| — | | 88,21 | 1 | — | | — | | 79,35 | 1 +br | — | |
| 84,28 | 4 | 84,30 | 2 | 84,129 | 4 | — | | 72,73 | 1 + | — | |

| Exner und Haschek | | | | Hamm | | Exner und Haschek | | | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | | Funke | | Bogen | |
| — | | 2670,45 | 1 + | — | | 2489,13 | 1 | — | | — | |
| — | | 66,00 | 1 | — | | 88,26 | 1 | — | | 2488,149 | 1 |
| — | | 65,39 | 1 | — | | 84,26 | 1 + | 2484,41 | 3 + | 84,19 | 1 u |
| — | | 59,8 | 1 +br | — | | 84,16 | 1 | — | | 84,039 | 1 |
| — | | 56,05 | 1 +br | — | | 83,40 | 1 | — | | 83,285 | 1 |
| — | | 55,6 | 1 +br | — | | — | | 82,75 | 1 | — | |
| 2651,32 | 1 | — | | — | | 79,90 | 1 + | — | | 79,773 | 1 |
| 48,83 | 1 + | 48,85 | 1 | 2648,721 | 1 | — | | — | | 79,489 | 1 |
| — | | 47,15 | 1 + | — | | 76,99 | 1 | 76,96 | 1 | 76,876 | 2 |
| — | | 38,27 | 1 | — | | — | | — | | 76,473 | 1 |
| — | | 32,98 | 1 + | — | | 73,27 | 1 | 73,28 | 5 | 73,165 | 1 |
| — | | 32,44 | 1 + | — | | 73,03 | 1 | — | | 72,917 | 1 |
| — | | 30,40 | 2 | — | | 72,32 | 1 | 72,27 | 1 | 72,237 | 1 |
| — | | 23,25 | 1 + | — | | 72,21 | 1 | — | | 72,074 | 3 |
| 18,49 | 2 | — | | — | | 67,00 | 1 | — | | 66,966 | 1 |
| — | | 15,29 | 2 + | — | | 65,40 | 1 | 65,34 | 1 | 65,279 | 1 |
| — | | 14,48 | 1 | — | | — | | 55,60 | 2 | — | |
| — | | 11,78 | 1 | — | | 54,11 | 1 | 54,09 | 1 | 53,997 | 2 |
| — | | 10,20 | 3 + | — | | 51,14 | 1 | 51,05 | 1 + | 51,008 | 1 |
| — | | 06,5 | 1 +b | — | | 50,57 | 1 | — | | 50,479 | 1 |
| — | | 05,80 | 3 | — | | 41,90 | 1 | 41,90 | 1 | 41,832 | 2 |
| — | | 01,22 | 1 +br | — | | 41,76 | 2 | 41,77 | 1 | — | |
| — | | 2588,4 | 1 + | — | | 40,02 | 1 + | — | | — | |
| — | | 84,10 | 2 | — | | 39,15 | 1 | 39,12 | 1 | 39,050 | 1 |
| — | | 82,69 | 1 | — | | 38,00 | 2 | 37,98 | 10 | 37,901 | 1 |
| 2578,55 | 1 | — | | 2578,477 | 1 | 36,80 | 1 | 36,73 | 1 | 36,679 | 1 |
| 74,48 | 1 | — | | 74,392 | 1 | 34,53 | 1 | 34,49 | 1 | 34,431 | 1 |
| 67,47 | 1 | — | | 67,351 | 1 | — | | 33,64 | 3 | — | |
| — | | 66,12 | 2 + | — | | 32,34 | 1 Co? | — | | 32,222 | 1 |
| — | | 63,7 | 1 + | — | | — | | 31,65 | 1 | — | |
| 62,22 | 1 + | — | | 62,123 | 1 | — | | 29,17 | 1 | 29,110 | 1 |
| 61,55 | 1 | — | | 61,433 | 1 | — | | 25,02 | 1 | — | |
| 59,86 | 1 | — | | 59,672 | 1 | 24,16 | 1 | — | | 24,025 | 1 |
| — | | 58,70 | 1 | — | | 23,80 | 1 | 23,74 | 1 | 23,661 | 1 |
| — | | 57,98 | 1 | — | | 23,47 | 1 | 23,43 | 1 | 23,330 | 1 |
| 53,49 | 1 | — | | 53,382 | 1 | 21,36 | 1 | 21,32 | 1 | 21,231 | 1 |
| 47,51 | 1 | | | 47,416 | 1 | 19,44 | 1 | 19,40 | 1 | 19,310 | 1 |
| 46,01 | 1 | 46,01 | 6 | 45,927 | 1 | 16,26 | 2 | 16,21 | 15 | 16,140 | 1 |
| 44,35 | 1 | — | | 44,264 | 1 | — | | 15,40 | 1 | — | |
| 40,14 | 1 | 40,14 | 1 +Ti? | 40,027 | 1 | — | | 14,56 | 1 | — | |
| — | | 39,20 | 2 | — | | — | | 13,14 | 2 | — | |
| 36,06 | 1 | — | | 35,976 | 1 | 12,80 | 1 | 12,75 | 1 | 12,647 | 1 |
| 32,20 | 1 | — | | 32,085 | 1 | — | | 12,36 | 1 | — | |
| 29,15 | 1 | 29,06 | 1 | 28,979 | 1 | — | | 10,84 | 1 | — | |
| 28,14 | 1 | — | | 28,067 | 1 | — | | 08,83 | 1 | — | |
| 24,30 | 1 | — | | 24,221 | 1 | — | | 07,36 | 1 | — | |
| — | | 14,85 | 1 + | — | | — | | 06,98 | 1 | — | |
| 11,06 | 1 | 11,00 | 10 | 11,020 | 1 | — | | 06,50 | 1 | — | |
| 10,99 | 2 | — | | 10,885 | 5 | — | | 05,27 | 2 | — | |
| — | | 05,94 | 3 | — | | — | | 02,1 | 1 + | — | |
| — | | 03,47 | 1 + | — | | 01,95 | 1 | 01,94 | 1 | 01,846 | 1 |
| 01,26 | 1 + | — | | 01,128 | 1 | — | | 2398,49 | 1 + | — | |
| — | | 2497,92 | 1 | — | | 2396,79 | 1 | 96,74 | 1 | 2396,637 | 1 |
| 2492,27 | 1 | — | | — | | 96,50 | 1 | 96,50 | 1 | 96,385 | 1 |
| 91,29 | 1 | — | | 2491,184 | 1 | — | | 94,95 | 2 | — | |
| 90,78 | 1 | — | | 90,689 | 1 | 94,66 | 2 | 94,68 | 15 | 94,523 | 2 |
| — | | 89,60 | 1 | — | | 93,20 | 1 | — | | 93,115 | 1 |

| Exner und Haschek Bogen | | Exner und Haschek Funke | | Hamm Bogen | | Exner und Haschek Bogen | | Exner und Haschek Funke | | Hamm Bogen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2393,10 | 1 | 2393,07 | 1 | 2392,963 | 1 | 2314,07 | 2+ | — | | 2313,982 | 2u |
| — | | 82,70 | 3 | — | | 13,72 | 1+ | 2313,75 | 1 | 13,656 | 2u |
| — | | 92,21 | 2 | — | | — | | 13,01 | 3 | — | |
| 89,01 | 1 | — | | 88,920 | 1 | 12,43 | 3u | 12,50 | 1+ | 12,338 | 3R |
| 87,87 | 1 | 87,87 | 4 | 87,768 | 1 | — | | 12,34 | 2 | — | |
| 87,67 | 1 | 87,68 | 1 | 87,556 | 1 | 11,09 | 3u | 11,09 | 2+ | 10,955 | 3R |
| 86,70 | 1 | 86,70 | 1 | 86,587 | 1 | 10,15 | 1 | — | | 10,025 | 1 |
| 85,10 | 1 | 84,95 | 1+ | 85,015 | 1 | 09,60 | 1 | — | | 09,486 | 1 |
| 84,50 | 1 | — | | 84,400 | 1 | — | | 08,59 | 2 | — | |
| — | | — | | 81,834 | 1 | 08,27 | 1 | — | | 08,161 | 1 |
| 80,94 | 1 | — | | 80,787 | 1 | — | | 07,91 | 2 | — | |
| 79,81 | 1 | 79,8 | 1+ | 79,725 | 1 | 07,45 | 1 | 07,45 | 1 | 07,353 | 1 |
| 76,12 | 1 | 76,09 | 1 | 76,019 | 1 | 06,55 | 1+ | — | | 06,420 | 1 |
| 75,54 | 1 | 75,51 | 8 | 75,427 | 1 | — | | 05,33 | 2 | — | |
| — | | 69,30 | 2 | — | | — | | 03,96 | 2 | — | |
| 67,47 | 1 | 67,47 | 3 | 67,390 | 1 | 03,10 | 2 | 03,11 | 4+ | 02,973 | 3 |
| — | | 66,62 | 3 | — | | — | | 02,56 | 2 | — | |
| 65,78 | 1 | 65,75 | 1+ | 65,677 | 1 | 01,68 | 1+ | — | | 01,568 | 2u |
| 62,19 | 1 | — | | 62,061 | 1 | — | | 01,13 | 1 | — | |
| 60,75 | 1 | 60,74 | 1 | 60,637 | 1 | 00,90 | 1+ | 00,86 | 1 | 00,773 | 2u |
| 58,99 | 1 | 58,96 | 1 | 58,865 | 1 | — | | 00,21 | 2 | — | |
| 56,99 | 1 | 56,95 | 1 | 56,869 | 1 | — | | 2299,74 | 2 | — | |
| 56,70 | 1 | 56,49 | 3 | — | | — | | 98,59 | 1 | — | |
| — | | 55,65 | 1 | — | | 2298,36 | 1 | 98,33 | 2+ | 2298,262 | 1 |
| 55,15 | 1 | — | | 55,060 | 1 | 97,60 | 1 | 97,60 | 2 | 97,488 | 1 |
| 53,81 | 1+ | — | | 53,706 | 1 | 97,26 | 1 | 97,24 | 2 | 97,139 | 1 |
| — | | 53,52 | 1 | — | | 96,69 | 1 | 96,66 | 3 | 96,547 | 1 |
| — | | 50,96 | 1 | — | | — | | — | | 94,359 | 1 |
| 50,59 | 1 | 50,2 | 1+br | 50,472 | 1 | 94,01 | 1+ | — | | 93,847 | 1 |
| 48,83 | 1 | — | | 48,738 | 1 | 93,25 | 1+ | 93,23 | 1 | 93,114 | 1 |
| 47,61 | 1 | 47,58 | 1 | 47,532 | 1 | 90,12 | 1+ | 90,10 | 1 | 89,979 | 1 |
| — | | 47,49 | 1 | — | | 88,54 | 1+ | 88,50 | 1 | 88,388 | 1u |
| 46,73 | 1 | 46,70 | 1 | 46,635 | 1 | — | | 87,74 | 2 | — | |
| 46,21 | 1+ | — | | 46,092 | 1 | — | | — | | 87,316 | 1 |
| 45,60 | 2u | 45,48 | 8u | 45,545 | 2R | 87,23 | 1 | 87,18 | 3+ | 87,086 | 1 |
| — | | 41,30 | 5 | — | | 86,78 | 1+ | — | | — | |
| 38,6 | 1+ | — | | 38,500 | 1 | — | | 81,17 | 1+ | — | |
| 37,95 | 1+ | — | | 37,819 | 1 | 79,7 | 1+ | — | | 79,553 | 1 |
| 37,60 | 1+ | 37,59 | 1 | 37,488 | 1 | 78,90 | 1 | 78,88 | 3+ | 78,759 | 1 |
| 37,20 | 1+ | 37,18 | 1 | 37,097 | 1 | — | | 78,42 | 2 | — | |
| — | | 36,77 | 4 | — | | — | | — | | 77,756 | 1 |
| — | | 36,33 | 1+ | — | | — | | 77,39 | 2 | 77,278 | 1 |
| 34,70 | 1 | 34,68 | 5 | 34,590 | 1 | — | | 76,56 | 1 | — | |
| 31,83 | 1 | 31,82 | 1+ | 31,704 | 1 | — | | 75,79 | 2 | — | |
| — | | 30,47 | 1+ | — | | 74,8 | 1+ | 74,82 | 2 | 74,653 | 1u |
| 30,10 | 2 | 30,07 | 2 | 29,974 | 2 | 74,0 | 1+ | 73,96 | 1+ | — | |
| 26,56 | 1 | 26,55 | 2 | 26,448 | 1 | — | | 72,09 | 1+ | 71,940 | 1 |
| 25,90 | 3+ | 25,91 | 2 | 25,799 | 3R | 70,34 | 1 | 70,33 | 4+ | 70,206 | 1 |
| 24,79 | 2 | — | | 24,653 | 2 | — | | — | | 67,545 | 1 |
| 22 81 | 2 | 22,80 | 1+ | 22,688 | 2 | — | | 65,45 | 1 | — | |
| 22,07 | 1 | 22,06 | 1 | 21,957 | 1 | 64,60 | 1 | 64,57 | 4+ | 64,447 | 1 |
| 21,55 | 3+ | 21,53 | 2 | 21,387 | 3R | — | | 63,03 | 1 | — | |
| 20,19 | 4u | 20,21 | 1 | 20,034 | 5R | — | | 61,55 | 1 | 61,411 | 1 |
| — | | 19,84 | 2 | — | | — | | 59,45 | 1+ | 59,550 | 1 |
| 18,88 | 1 | 18,60 | 2 | 18,779 | 1 | — | | 58,2 | 1+ | 58,133 | 1 |
| 17,22 | 2+ | 17,23 | 1+ | 17,158 | 2R | — | | 58,0 | 1+ | — | |
| 16,14 | 2 | 16,12 | 6+ | 16,040 | 2 | — | | 56,22 | 1 | — | |

| Exner und Haschek | | | | Hamm | | Exner und Haschek | | | Hamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Bogen | | Bogen | Funke | | Bogen | |
| — | | 2254,89 | 1 | 2254,798 | 1 | | 2192,45 | 1+ | — | |
| 2253,97 | 1 | 53,94 | 2 | 53,832 | 1 | | 91,04 | 1 | — | |
| 53,75 | 1+ | 53,79 | 1 | 53,549 | 1 | | 90,72 | 1 | — | |
| — | | 53,0 | 1+ | — | | | — | | 2190,179 | 1 |
| — | | — | | 51,467 | 1 | | 88,14 | 1 | — | |
| — | | 47,31 | 1 | — | | | 85,59 | 2+ | — | |
| — | | 45,16 | 1+ | — | | | 84,70 | 2+ | 84,567 | 1 |
| — | | 45,0 | 1+ | — | | | — | | 83,864 | 1 |
| 44,6 | 1+ | 44,53 | 1+ | 44,464 | 1 | | 83,42 | 1+ | 83,334 | 1 |
| — | | — | | 44,246 | 1 | | — | | 81,678 | 1 |
| — | | 42,85 | 1+ | — | | | 80,57 | 1 | — | |
| — | | 41,75 | 1+ | — | | | 80,10 | 1 | — | |
| — | | — | | 38,430 | 1 | | 79,48 | 2 | 79,358 | 1 |
| — | | — | | 30,932 | 1 | | 77,48 | 1 | — | |
| 26,41 | 1 | 26,41 | 2+ | 26,296 | 1 | | 77,14 | 1 | — | |
| — | | 25,9 | 1+ | — | | | 75,22 | 2+ | 75,098 | 1 |
| 24,94 | 1 | 24,94 | 2+ | 24,837 | 1 | | 74,76 | 2+ | 74,620 | 1 |
| — | | 24,44 | 1+ | — | | | — | | 74,436 | 1 |
| 23,04 | 1 | 23,06 | 2+ | 22,932 | 1 | | 70,18 | 1+ | — | |
| — | | 22,44 | 1+ | — | | | — | | 69,426 | 1 |
| — | | 21,90 | 1+ | 21,920 | 1 | | 69,19 | 2+ | 69,052 | 1 |
| — | | 21,26 | 1+ | — | | | 67,45 | 1+ | — | |
| — | | 20,50 | 2 | — | | | 65,66 | 2+ | 65,502 | 1 |
| — | | 19,62 | 1+ | — | | | 61,31 | 1 | | |
| — | | 18,17 | 1+ | — | | | 58,83 | 1 | | |
| 16,52 | 1 | 16,52 | 3+ | 16,459 | 1 | | 38,69 | 1 | | |
| | | 13,29 | 1 | — | | | 31,33 | 1 | | |
| | | — | | 11,267 | 1 | | 28,67 | 1 | | |
| | | 11,16 | 1 | — | | | 26,96 | 1 | | |
| | | 10,45 | 2+ | — | | | 25,98 | 1+ | | |
| | | 06,80 | 2+ | — | | | 25,21 | 1+ | | |
| | | 05,72 | 1+ | — | | | 13,61 | 1 | | |
| | | 03,6 | 1+ | — | | | 08,04 | 1 | | |
| | | 01,51 | 2+ | 01,529 | 1 | | 2097,2 | 1+ | | |
| | | — | | 2197,308 | 1 | | | | | |

## Tabelle A. Verunreinigungen.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Co | 3453,518 | 4275,132 | 2356,604 | 5463,262 | 2983,568 |
| 6563,419 | 49,446 | 22,66 | 03,113 | 5216,274 | 2576,102 |
| 4027,029 | 49,175 | 3530,390 | 2276,238 | 15,189 | 40,967 |
| 20,893 | 43,650 | 3475,992 | 63,082 | 5168,899 | 2489,513 |
| 3995,305 | 33,044 | 65,353 | 60,501 | 48,065 | 67,743 |
| 41,730 | 09,177 | 35,234 | 46,979 | 42,933 | 42,577 |
| 3755,447 | 05,122 | 3337,848 | 42,594 | 31,475 | 40,118 |
| 3602,068 | 3395,377 | 07,950 | 27,741 | 5097,008 | 38,188 |
| 3543,256 | 2424,938 | 3290,546 | 15,637 | 97,746 | 2395,419 |
| 33,359 | 15,290 | 73,967 | 14,557 | 58,009 | 79,275 |
| 29,812 | 14,460 | 47,552 | 10,234 | 48,450 | 75,194 |
| 29,039 | 11,627 | 23,427 | 2192,225 | 44,241 | 69,458 |
| 26,854 | 07,257 | 3036,103 | 78,911 | 41,758 | 68,594 |
| 20,085 | 2286,127 | 10,842 | | 4946,402 | 66,591 |
| 18,351 | | 2961,180 | Fe | 33,341 | 64,829 |
| 12,643 | Cu | 2824,377 | 6336,855 | 30,325 | 48,120 |
| 06,317 | 4704,597 | 2766,391 | 6013,525 | 4855,684 | 43,496 |
| 02,285 | 4480,378 | 2492,153 | 5712,153 | 4490,087 | 38,006 |
| 3495,684 | 4378,143 | 2441,665 | 5636,694 | 4274,782 | 32,798 |

Tabelle A. Verunreinigungen. (Fortsetzung.)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2331,305 | Mg | 4762,374 | 4281,099 | 3607,521 | 2798,274 |
| 27,388 | 2802,716 | 61,524 | 57,666 | 3548,020 | 94,824 |
| 09,006 | | 4502,228 | 35,141 | 47,793 | |
| 2270,416 | Mn | 4470,147 | 3985,235 | 2933,066 | Zn |
| 66,340 | 4766,421 | 62,032 | 3823,883 | 2812,848 | 4722,162 |
| | 65,861 | 36,356 | 23,505 | 01,079 | 4680,144 |

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Kayser, für seine gütige Anregung, sein freundliches Interesse und Entgegenkommen bei Anfertigung dieser Arbeit meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

## Literatur.

H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie I, II, VI.

G. Kirchhoff, Abhandl. Berl. Akad. 1861. 63—95; 1863. 227—240.

R. Thalén, Nova acta reg. soc. sc. Upsal. (3) **6.** 1868.

A. Cornu, Ann. scient. de l'école norm. sup. (2) **9.** 21—106. 1880; Paris 1881.

A. Cornu, Sur les raies telluriques, qu'on observe dans le spectre solaire au voisinage des raies D. J. de l'école polytechn. **53.** 175—212. 1883.

G. D. Liveing and J. Dewar, Proc. Roy. Soc. **43.** 430. 1888; Phil. Trans. A. **179.** 231—255. 1888.

H. A. Rowland, Astron. and Astrophys. **12.** 321—347. 1893.

E. Hasselberg, Kgl. Sv. Vet. Akad. Handl. **28.** 1896.

W. J. Humphreys, Astrophys. J. **6.** 169—232. 1897.

W. J. Humphreys, Astrophys. J. **26.** 18—35. 1907.

H. M. Reese, Astrophys. J. **19.** 322—337. 1904.

N. A. Kent, Astrophys. J. **13.** 289—319. 1901.

C. Peterke, Diss. Halle 1909.

A. Hagenbach und H. Konen, Atlas der Emissionsspektra, Jena 1905.

Lord Blythwood and W. A. Scoble, Astrophys. J. **24.** 125—127. 1906.

H. Geisler, Zur anomalen Dispersion .... Diss. Bonn 1909. Zeitschr. f. wiss. Phot. **7.** 89—112. 1909.

L. Stüting, Untersuchungen über den roten Teil der Bogenspektren von Nickel, Kobalt und Chrom. Diss. Bonn 1909.

H. Kayser, Astrophys. J. **32.** 217. 1910; Zeitschr. f. wiss. Phot. **9.** 173. 1911.

F. Goos, Astrophys. J. **35.** 221. 1912; Zeitschr. f. wiss. Phot. **11.** 1. 305. 1912.

E. St. John and B. W. Ware, Astrophys. J. **36.** 14. 1912.

H. G. Gale and W. S. Adams, Astrophys. J. **35.** 10. 1912.

W. W. Coblentz, Phys. Zeitschr. **9.** 60—64. 1908.

A. de Gramont, C. R. **150.** 37—40. 1910.

F. Exner und E. Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck, Leipzig, bei Deuticke, 1911. Bogen.

F. Exner und E. Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck, Leipzig, bei Deuticke, 1912. Funken.

J. M. Graftdyk, Magnetische splitring van het nikkel — en kobalt spectrum en van het yzer — spectrum. Akademisch Proefschrift Amsterdam 1911.

A de Gramont, C. R. **155.** 276—279. 1912.

Sir W. N. Hartley and H. W. Moss, Proc. Roy. Soc. A. **87.** 38—48. 1912.

## Bücherbesprechungen.

Werke photophysikalischen Inhalts.

**Lord Kelvin.** Vorlesungen über Molekulardynamik und die Theorie des Lichts. Deutsch herausgegeben von B. Weinstein. 590 S. mit 132 Figuren. Leipzig 1909, B. G. Teubner. Geb. M. 18.—.

In einer Zeitepoche, in der unsere Grundanschauungen über das Wesen des Lichts durch die Elektronentheorie und besonders durch die Quantenhypothese tief einschneidende Veränderungen erfahren, hat es besonderes Interesse zu verfolgen, welche Ansichten ein so scharfer und fruchtbarer Denker, wie der Verfasser, hegte, und wie sie sich angesichts des wissenschaftlichen Fortschritts im Lauf der Jahre — die Niederschrift der vorliegenden Vorlesungen ist in einem Zeitintervalle von 19 Jahren erfolgt — änderten. Wenn der Autor auch von Anfang an der elektromagnetischen Theorie kritisch und skeptisch gegenüberstand, so hat er doch mit größter Vorurteilslosigkeit die mechanischen Interpretationen dargelegt und ihre Mängel hervorgehoben.

**Franz Richarz.** Anfangsgründe der Maxwellschen Theorie, verknüpft mit der Elektronentheorie. 245 S. mit 69 Fig. im Text. Leipzig 1909, B. G. Teubner. Geb. M. 8.—.

Im Gegensatz zu den älteren Darstellungen legt die im vorliegenden Buch gegebene von Anfang an die Elektronenlehre zugrunde; dadurch erhalten viele Begriffe, wie neutrale Elektrizität, dielektrische Polarisation, Leitung u. a. bestimmte Bedeutung, die ihnen in der ursprünglichen Form der Theorie noch mangelt. Die Ausführungen stellen eine Erweiterung von Hochschulvorträgen für Oberlehrer dar; sie setzen dementsprechend die Kenntnis der Grundanschauungen und die Bekanntschaft mit analytischer Mechanik, Differentialgleichungen, Potentialtheorie usw. voraus. Das Hauptgewicht ist auf möglichst klare Herausarbeitung der Grundbegriffe und fundamentalen Beziehungen gelegt worden.

**Norman R. Campbell.** Moderne Elektrizitätslehre. Übersetzt von U. Meyer. 423 S. Dresden 1913, Th. Steinkopff. Geb. M. 14.—.

Das vorliegende, für Fortgeschrittene bestimmte Buch behandelt den Teil der physikalischen und chemischen Erscheinungen, der auf dem Boden der Elektronentheorie seine am besten befriedigende Erklärung findet. Nach einer gründlichen Darstellung dieser Theorie selbst wird die Strahlungslehre von jenem Standpunkt aus erörtert; dabei werden die Gesetze der Strahlung, die Vorstellungen über Entstehung und Natur der Spektren, die Hypothesen über die Struktur des Lichts u. a. eingehend behandelt. Naturgemäß finden auch die korpuskularen Strahlungen und die Röntgenstrahlen eine ausführliche

Besprechung. Ein umfangreicher Abschnitt befaßt sich mit den Beziehungen zwischen Elektrizität und Materie; in diesem Teil wird auch das Relativitätsprinzip diskutiert. Ein Anhang bringt Ausführungen über den Äther und über die Aberration.

**D. A. Goldhammer.** Dispersion und Absorption des Lichtes. 144 S. mit 28 Textfiguren. Leipzig 1913, B. G. Teubner. Geb. M. 4.—.

Der Verf. hat die bisher nur für Nichtleiter mit einem Absorptionsstreifen gut durchgebildete Theorie der Absorption und Dispersion auf Grund der von Planck eingeführten Vorstellung über die Schwingungen elektrischer Dipole derart erweitert, daß sie auch auf Nichtleiter mit mehreren Absorptionsstreifen und auf Leiter Anwendung finden kann.

**Peter Lebedew.** Die Druckkräfte des Lichtes. (Ostwalds Klassiker Nr. 188.) 58 S. mit 25 Figuren im Text und 1 Bildnis. Geb. M. 1.80.

Die grundlegenden Arbeiten des allzufrüh verstorbenen russischen Physikers sind von seinem Mitarbeiter P. Lasareff im vorliegenden Bändchen vereinigt und durch Anmerkungen erläutert worden.

**Leo Graetz.** Das Licht und die Farben. 3. Auflage. 145 S. mit 117 Abbild. Leipzig 1910, B. G. Teubner. Geb. M. 1.25.

**Robert Geigel.** Licht und Farbe. Reclams Universal-Bibliothek, Bd. 5188—5190. 199 S. mit 1 Portrait, 4 bunten Tafeln und 75 Zeichnungen im Text. Geh. M. 0.60.

Die erste der genannten populären Schriften stellt den 17. Band der bekannten großen Serie „Aus Natur und Geisteswelt“ dar; die zweite gehört den von S. Günther herausgegebenen „Büchern der Naturwissenschaft“ an. Beide bringen in leichtfaßlicher Weise reichhaltiges Material. Karl Schaum.

## Berichtigung und Nachtrag.

In meiner „Notiz über spektrale Absorption und Polymorphismus“ Bd. XII, S. 144, R. 19 v. o. ist vor „polymorph“ einzuschieben: „chemisch“. — Das von Herrn F. Klausing und mir ermittelte Temperatur-Konzentrationsdiagramm hat eine sehr eigentümliche Beschaffenheit; es zeigt eine von 100 % der stabilen Form (Fp. 47,5°) aus fast horizontal verlaufende, bis zur Abszisse „ca. 3 % stabile Form + 97 % metastabile Form“ reichende Erstarrungslinie, und ein daran sich anschließendes nach 100 % der metastabilen Form (Fp. ca. 23°) verlaufendes Kurvenstück. — Das metastabile Benzophenon ist auch ohne vorherige Erhitzung, z. B. aus alkoholischen Lösungen, zu erhalten. Karl Schaum.

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.

# Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1913. Heft 4.

## Spektroheliographische Untersuchungen am Lichtbogen.

Von

Otto Oldenberg.

Mit 1 Tafel und 12 Figuren.

### I. Einleitung.

#### A. Ziel der Arbeit.

Die Kenntnis der Lichtbogenvorgänge systematisch zu fördern, ist eins der Ziele, die sich das Institut für angewandte Elektrizität in Göttingen seit einer Reihe von Jahren gesteckt hat. Durch eine größere Anzahl von Untersuchungen wurde über die rein elektrischen und die akustischen Vorgänge am Lichtbogen eine Klarheit gewonnen, die uns einer Beherrschung der komplizierten Erscheinungen wesentlich nähergerückt hat. Vor allen Dingen wurde dabei Wert gelegt auf die Untersuchung schnell wechselnder Vorgänge, die bei elektrischen Größen durch die dynamische Charakteristik dargestellt werden. Um den Zusammenhang dieser Vorgänge mit den optischen Erscheinungen am Lichtbogen kennen zu lernen, veranlaßte mich Prof. H. Th. Simon, die spektroheliographische Methode auf den Lichtbogen anzuwenden, die in den letzten Jahrzehnten so wesentliche, neue Kenntnisse über die Sonne hat gewinnen helfen. Und zwar war meine Aufgabe, diese Methode nicht nur für den Gleichstromlichtbogen brauchbar zu machen, sondern sie so auszugestalten, daß auch ein Wechselstromlichtbogen in jeder seiner Phasen gesondert spektroheliographisch, d. h. in dem Licht einer beliebigen Wellenlänge, beobachtet und photographiert werden könne. Also die Bildungsgeschichte des Wechselstrombogens sollte für jeden spektral analysierbaren Bestandteil seiner Gase verfolgt werden. Eine solche Untersuchung läßt, abgesehen von strahlungsmechanischen Aufschlüssen, weitere Aufklärungen über die Natur der Vorgänge erhoffen, die die Lichtbogenentladung beherrschen.

Die vorliegende Arbeit enthält die Berechnung und Konstruktion des spektroheliographischen Apparates und seine Anwendung auf die Untersuchung des Gleichstromlichtbogens.

Die Untersuchung des Wechselstromlichtbogens in dem oben angedeuteten Sinn gestattet der Apparat zwar durchzuführen; indessen wurde diese Untersuchung selbst einer späteren Arbeit vorbehalten.

### B. Frühere Untersuchungen ähnlicher Art.

Beim Studium der Literatur fand sich, daß Untersuchungen des Lichtbogens ähnlicher Art bereits mehrfach gemacht worden sind, und zwar wesentlich von spektralanalytischen und strahlungsmechanischen Gesichtspunkten aus.

So hat Lenard[1]) monochromatische Bilder des Lichtbogens untersucht. Am einfachsten lassen sich diese dadurch herstellen, daß man den Lichtbogen durch ein Farbenfilter betrachtet, und damit hat Lenard auch Erfolge erzielt. Aber diese primitive Methode hat den Nachteil, daß jedes Filter einen ganzen Bereich des Spektrums durchläßt; und in dem werden oft Linien enthalten sein, von denen jede für sich eine andere Helligkeitsverteilung im Bilde verursacht. Die vollständige Trennung dieser Linien kann nur mit einem Spektralapparat ausgeführt werden.

Auf zwei Weisen vermag der Spektralapparat monochromatische Bilder zu liefern.

Zunächst kann man den Kollimatorspalt durch ein stark verkleinertes Bild des Lichtbogens ersetzen. Alsdann erscheint im Spektrum statt der gewohnten Linien eine Reihe kleiner Lichtbogenbilder; jedes dieser Bilder stellt die Teile des Lichtbogens dar, die Licht von der betreffenden Farbe ausstrahlen. Diese Methode hat zuerst Lenard auf den Lichtbogen angewandt. Er beobachtete damit im wesentlichen folgendes: Die Hauptserie von Na und ebenso die von Li liefert Bilder, deren Rand heller ist als die Mitte. Die erste Nebenserie erscheint erst weiter innen hell, gerade da, wo die Helligkeit der Hauptserie aufhört. Daran schließen sich noch weiter nach innen die höheren Nebenserien an. Diese Beobachtung deutet Lenard damit, daß jede Serie nur in einem mantelartigen Bezirk des Bogens emittiert wird, die Hauptserie draußen, daran nach innen anschließend eine Nebenserie nach der andern.

Gegen diese Beobachtungen hat Kayser[2]) Einwendungen erhoben.

Puccianti[3]) hat Kaysers Einwände zu widerlegen gesucht. Mit demselben Apparat hat er dann auch schon die einzelnen Phasen des Wechselstrombogens getrennt beobachtet.[4]) Die Zerlegung in Phasen führte er durch eine stroboskopische Scheibe aus, die auf der Achse eines Synchronmotors befestigt war. Gleichzeitig mit jeder photographischen Aufnahme wurden die Momentanwerte von Strom und Spannung mit Hilfe einer Joubertschen Scheibe gemessen. Er beobachtete zahlreiche Einzelheiten.

Eine viel vollkommenere Methode zur Herstellung monochromatischer Photographien des Lichtbogens ist die spektroheliographische. Sie beruht auf der Anwendung des Apparates, den zuerst Hale[5]) zur Untersuchung der Sonne benutzt hat.

Sauve[6]) und Nodon[7]) haben nach dem gleichen Prinzip kleinere Apparate konstruiert, die gewiß auch für den Lichtbogen anwendbar sind. Sehr ähnlich ist das Prinzip eines Apparates, den Abney[8]) angibt. Auf den Lichtbogen angewendet wurde die spektroheliographische Methode von Puccianti.[9]) Er bestätigte im wesentlichen Lenards Beobachtungen und hat noch einige neue Messungen angeschlossen. Eine Erklärung dieser Erscheinungen ist in einer Arbeit von La Rosa[10]) versucht.

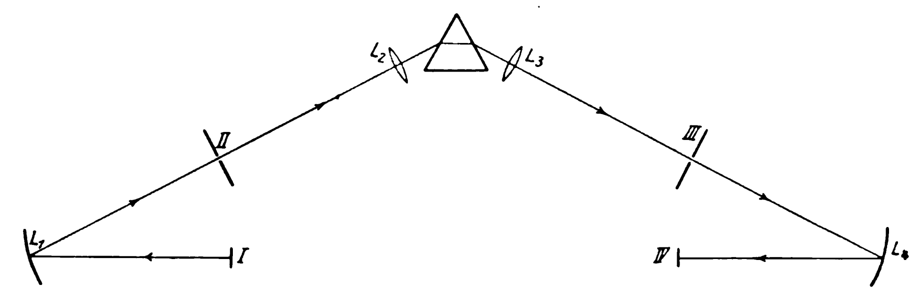
Das spaltlose Spektroskop hat gegenüber dem Spektroheliograph den Vorteil der größeren Einfachheit und der größeren Lichtstärke. Dafür hat es aber den Nachteil, daß es nur Spektren von geringer Reinheit zu benutzen gestattet, und in solchen Spektren nur Linien, die sich besonders hell von einer dunkleren Umgebung abheben. Außerdem sind solche Lichtbogenbilder immer an beiden Enden durch das kontinuierliche Spektrum der glühenden Kohlespitzen wie durch einen dicken Strich abgegrenzt. Beim Spektroheliograph wird dagegen die Untersuchung einer Linie nicht durch nahe benachbarte andere Linien gestört. Banden kann man ebenso gut wie Linien zur Aufnahme benutzen. Ferner geben diese Bilder auch seitlich neben den glühenden Kohleenden die Verteilung des leuchtenden Dampfes richtig wieder.

## II. Apparat.

### A. Prinzip.

Das Prinzip des von mir konstruierten Apparates tritt am einfachsten in der Anordnung von Figur 1 hervor.[11]) Ein Hohlspiegel $L_1$ entwirft vom Lichtbogen I ein reelles Bild auf dem Kollimator-

spalt II eines Spektralapparats. Der Spalt blendet also einen schmalen, vertikalen Bezirk aus dem Bilde aus. Von diesem entwirft der Spektralapparat mit den Linsen $L_2$ und $L_3$ bei III das Spektrum. Ein dort aufgestellter Spalt blendet ein monochromatisches Spaltbild heraus, und dieses wird durch einen zweiten Hohlspiegel $L_4$ bei IV abgebildet. Jetzt werde der Spiegel $L_1$ um eine vertikale Achse in Drehung versetzt; dann werden Bezirke, die im Bilde bei II räumlich nebeneinander liegen, durch den Kollimatorspalt zeitlich hintereinander aufgenommen und bei III abgebildet. Wird nun auch noch in fester Kuppelung mit $L_1$ der Spiegel $L_4$ gedreht, ebenfalls um eine vertikale Achse, so wird umgekehrt erreicht, daß die bei III zeitlich hintereinander ent-




Figur 1.

stehenden spaltförmigen Ausschnitte des Bildes von I bei IV wiederum zu einem richtigen Bilde räumlich nebeneinander gelegt werden, und zwar zu einem Bilde desjenigen monochromatischen Bestandteils, der durch den Spalt III herausgegriffen ist. Eine bei IV aufgestellte photographische Platte gestattet also, die Verteilung der betreffenden Lichtart im Lichtbogen zu fixieren. Hierbei erfolgt die photographische Abbildung also ähnlich wie bei einem Schlitzverschluß. Wenn die beiden gekuppelten Spiegel hinreichend schnell und häufig hin und her gedreht werden, so entsteht auf einer bei IV aufgestellten Mattscheibe ein für das Auge kontinuierlich erscheinendes Bild.

Jetzt nehmen wir an, daß beide Spiegel genau synchron mit einem Wechselstrom rotieren, der den Lichtbogen speist. Dann wird immer nur in einer bestimmten Phase des Wechsels ein Lichtbogenbild über den Spalt II hingeführt; d. h. man erhält bei IV stets nur das Bild der Lichtverteilung, wie sie in dieser Phase besteht. Die Phase läßt sich durch Drehung der gekuppelten

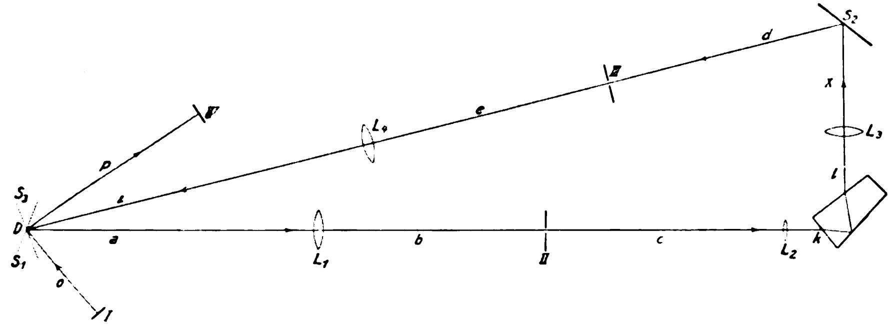
Spiegel relativ zu ihrer Achse beliebig durch die ganze Periode hin variieren.

Das Resultat ist also das gewünschte; ein solcher Apparat gestattet, das Bild des Wechselstromlichtbogens nach Farbe und nach Phase zu zerlegen.

## B. Praktische Ausführung.

### 1. Aufstellung der optischen Teile.

Die praktische Ausführung dieses Prinzips gestaltete sich folgendermaßen: Statt der Hohlspiegel wurden Linsen und rotierende ebene Spiegel verwendet. Um einen genau synchronen Gang der



Figur 2. (Maßstab 1 : 8)

Spiegel zu erreichen, wurden beide übereinander auf dieselbe Achse gesetzt. Hierdurch wurde im Strahlengang noch eine Richtungsänderung erforderlich, die durch einen dritten, feststehenden Spiegel hergestellt wurde. So entstand das in Figur 2 angedeutete Schema. Der Lichtbogen I wird über den unteren rotierenden Spiegel $S_1$ durch das Objektiv $L_1$ auf dem Spalt II abgebildet. Vom Spalt entwerfen die Kollimatorlinse $L_2$, das Prisma und das Objektiv $L_3$ ein Spektrum in der Ebene III. Der feste Spiegel $S_2$ zwischen $L_3$ und III erteilt dem Licht wieder die Richtung auf die Drehungsachse $D$ zu; gleichzeitig hebt er den Lichtstrahl mit einer Steigung von etwa 6° aus der Ebene der Zeichnung heraus nach oben, so daß der Strahl den zweiten rotierenden Spiegel $S_3$ trifft, der über dem ersten (gegen ihn verdreht) auf derselben Achse befestigt ist. Aus dem Spektrum blendet der Spalt III eine Linie aus, und diese wird durch die Linse $L_4$ und den oberen rotierenden Spiegel $S_3$ in der Ebene IV abgebildet.

Ich benutzte folgende Linsen:

$L_1$ achromatisches Fernrohrobjektiv: $f = 15{,}0$ cm,
$L_2$ Anastigmat von Zeiß: $f = 28{,}5$ cm,
$L_3$ Anastigmat von Zeiß: $f = 41{,}2$ cm,
$L_4$ Anastigmat von Voigtländer: $f = 18{,}0$ cm.

Der erste Spalt ist ein Präzisionsspalt der Firma Fueß; der zweite ist in der Werkstatt des unterzeichneten Instituts hergestellt.

Als Prisma benutzte ich die von Steeg & Reuter, Homburg, ausgeführte Konstruktion nach Pellin und Broca mit einer totalen Reflexion im Innern.[12]) Bei diesem Prisma wird unabhängig von der Farbe der symmetrisch durchtretende Strahl immer um $90^0$ abgelenkt. Infolgedessen ist der Übergang von einer Farbe zu einer anderen lediglich durch eine Drehung des Prismentisches auszuführen, ohne daß Kollimatorrohr oder Fernrohr gedreht zu werden brauchen. Auch brauchen die Linsen nicht nachgestellt zu werden, da alle gut achromatisch sind. Daß der Wechsel der Farbe mit einem Handgriff ausführbar ist, hat den Vorteil, daß auf der Mattscheibe unmittelbar hintereinander in beliebigem Wechsel die Bilder verschiedener Farben beobachtet werden können.

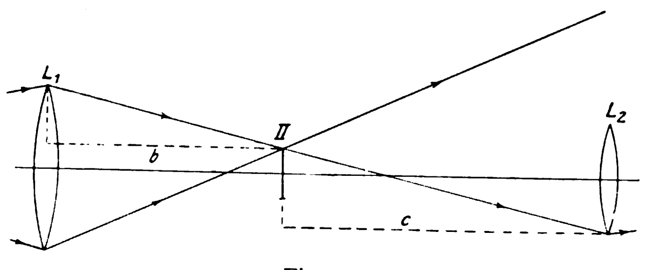
Die Stellung des Prismas zu den Linsen und die Stellung der Achse des Prismentisches wurde nach den Angaben von H. S. Uhler[13]) berechnet.

Alle optischen Teile sind auf einer optischen Bank angebracht und genau justiert. Die optische Bank ist in drei getrennten Teilen auf einer plan gehobelten, eisernen Richtplatte aufgeschroben.

### 2. Gesichtsfeld.

Von einem vertikalen Bezirk des Lichtbogens werden also hintereinander drei reelle Bilder entworfen, zunächst von der Linse $L_1$, dann vom Linsenpaar $L_2$ $L_3$, schließlich von der Linse $L_4$. Hierbei wird im allgemeinen das Gesichtsfeld des endgültigen Bildes IV nur wenige Millimeter groß sein. Denn schon das reelle Bild II hat ja nicht alle Eigenschaften eines leuchtenden Objektes. Von diesem unterscheidet es sich vielmehr dadurch, daß von jedem Punkt des Bildes II nur ein schmales Bündel Lichtstrahlen in der Richtung nach $L_2$ gesandt wird. Nur solche Punkte von II liegen innerhalb eines gleichmäßig erhellten Gesichtsfeldes, welche Strahlenbündel von gleicher Öffnung in die folgenden optischen Teile hineinschicken.

Um das für alle Punkte des Lichtbogenbildes bei II zu erreichen, kann man zunächst in die Ebene des Bildes eine Linse einschalten; denn eine unendlich dünne Linse in der Bildebene hat Einfluß nur auf das Gesichtsfeld, gar nicht aber auf die Vergrößerung. Diese Methode hat Puccianti in seinem Spektroheliographen angewandt. Sie hat den Nachteil, daß an den neuen Linsen Lichtverluste durch Reflexion hinzukommen. Zweckmäßiger ist es deshalb, lediglich durch geeignete Anordnung der abbildenden Linsen das Gesichtsfeld auf eine hinreichende Größe zu bringen. Dies ist vor allem deshalb möglich, weil man sich zum Photographieren des Lichtbogens mit einem kleinen Gesichtsfeld begnügen kann. Die Überlegungen, die bei meinem Apparat zum Ziele führten, sind




Figur 3.

zwar auf die Eigenschaften der zufällig vorhandenen Linsen zugeschnitten. Ich berichte trotzdem davon, weil diese Formeln für andere Fälle leicht abgeändert werden können.

In Figur 3 ist die Kollimatorseite des Spektralapparates gezeichnet. Die Punkte von Bild II, die innerhalb eines gleichmäßig erhellten Gesichtsfeldes liegen, müssen die Forderung erfüllen, daß die zugehörigen Strahlenbündel die Linse $L_2$ ganz ausfüllen (und eventuell seitlich darüber hinausreichen). In Figur 3 ist das äußerste Strahlenbündel gezeichnet, das noch die Linse $L_2$ ausfüllt; es reicht oben darüber hinaus. Man sieht, daß dies Bündel den obersten brauchbaren Punkt des Bildes II liefert. Welche Beziehung besteht zwischen der Lage dieses Punktes und den anderen optischen Größen? In den folgenden Formeln mögen mit $L_1$, $L_2$, $L_3$, $L_4$, I, II, III, IV immer die Halbmesser der betreffenden Größen bezeichnet werden. Aus den gezeichneten ähnlichen Dreiecken ergibt sich für diesen Punkt

$$\frac{b}{c} = \frac{L_1 - \text{II}}{\text{II} + L_2}.$$

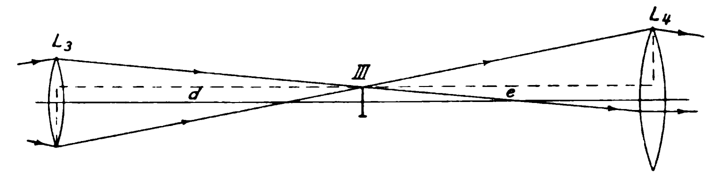
Auf der Fernrohrseite (Figur 4) stellte es sich als zweckmäßig heraus, eine andere Forderung in der Formel auszudrücken. Nur die Punkte von III liegen innerhalb eines gleichmäßig erhellten Gesichtsfeldes, deren Strahlenbündel von der Linse $L_4$ ganz umfaßt werden (ohne daß jedes einzelne Bündel sie ganz ausfüllt). Wieder ist das oberste brauchbare Strahlenbündel gezeichnet. Ähnliche Dreiecke liefern hier für den äußersten Punkt von III die Formel

$$\frac{e}{d} = \frac{L_4 - \text{III}}{L_3 + \text{III}}.$$

In meinem Apparat wird aber der Rand von $L_3$ nicht benutzt, da $L_2$ wesentlich kleiner ist. Deshalb ist statt der letzten Formel näherungsweise zu setzen

$$\frac{e}{d} = \frac{L_4 - \text{III}}{L_2 + \text{III}}.$$

Auf die Verwendung dieser Formeln bei der Berechnung des Apparates komme ich später zu sprechen.




Figur 4.

Diese Formeln liefern nur die obere und untere Begrenzung des Gesichtsfeldes, wie ja auch die Figuren 3 und 4 Seitenansichten sind. Seitlich ist das Gesichtsfeld noch sehr viel größer. Denn Figur 2 zeigt, daß man den rotierenden Doppelspiegel nur hinreichend weit zu drehen braucht, um einen seitlich weit entlegenen Punkt der Ebene I an der richtigen Stelle von Ebene IV zur Abbildung zu bringen.

### 3. Konstruktion und Lichtstärke für subjektive Beobachtung.

Hinter der Ebene IV, in welche die photographische Platte zu stellen ist, werden die Strahlen, wenn die Kassette fortgenommen ist, durch ein Okular in der Augenpupille konzentriert. Die Lichtstärke des Apparates wird durch folgende Beobachtung charakterisiert: Die Spalte wurden so eng gestellt, daß eine einzelne $D$-Linie von der anderen getrennt wurde; und immer noch reichte die Helligkeit zur subjektiven Beobachtung hin, obwohl bei rotierenden

Spiegeln nur während eines kleinen Teils jeder Umdrehung Licht ins Auge gelangt. Beim Gleichstromlichtbogen ist es bei lichtschwachen Linien vorteilhafter, die Spiegel mit der Hand möglichst schnell um die richtige Lage hin und her zu drehen.

### 4. Benutzung als Spektrometer.

Zur Beobachtung des Spektrums kann der zweite Spalt weit geöffnet und ein Okular dahinter geklappt werden. So entsteht ein Spektroskop mit einem Auflösungsvermögen von etwa 1 A.-E. im Blauen. Der Prismentisch ist durch eine Mikrometerschraube mit Trommel und Skala drehbar; daher läßt sich der Apparat nach vorangegangener Eichung auch bequem zur Wellenlängenmessung verwenden, und zwar im Blauen mit einem Fehler von weniger als 1 A.-E. Durch den zweiten Spalt kann z. B. eine *D*-Linie gut von der anderen gesondert herausgeblendet werden; es konnte leicht festgestellt werden, daß vom selben Lichtbogen die Linien Mg 5529 und Ba 5536 gänzlich verschiedene Bilder liefern.

### 5. Konstruktion und Betrieb der rotierenden Spiegel.

Als Spiegel sind versilberte Glasspiegel benutzt. Die rotierenden Spiegel sind planparallel, beiderseitig versilbert; jeder Spiegel ist so eingestellt, daß seine beiden Flächen genau parallel zur Drehungsachse und in gleichem Abstand von ihr liegen. Damit die Tourenzahl bis 3000 Touren pro Minute gesteigert werden kann, müssen die Spiegel sorgfaltig in einem festen Rahmen und dabei genau justierbar montiert werden.

Während einer ganzen Periode des Wechselstroms machen diese doppelseitigen Spiegel eine halbe Umdrehung, da sie an einen vierpoligen Synchronmotor gekuppelt sind. So wird aus jeder ganzen Periode eine Phase ausgeblendet. Damit jede Phase des Wechselstromes, der den Lichtbogen und den Motor betreibt, nach Belieben zur Aufnahme benutzt werden kann, steht der Motor auf einer horizontalen Drehscheibe. Sind Lichtbogen und Motor in Betrieb, so erscheint auf der Mattscheibe zunächst ein monochromatisches Bild einer einzelnen Phase. Wird dann der ganze Motor auf der Drehscheibe gedreht, so ändert sich dementsprechend stetig die beobachtete Phase.

Der von der Firma H. Boas, Berlin, konstruierte Motor ist als

Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer gebaut. Wird er von der Gleichstromseite nur nahezu auf Synchronismus gebracht, so verschiebt sich im Laufe mehrerer Sekunden die beobachtete Phase von selbst stetig durch alle Werte hindurch. Auf der Mattscheibe pulsiert dann das Bild in einem langsamen Tempo, das durch die Tourenzahl des Motors beliebig eingestellt werden kann. Auf diese Weise lassen sich die verschiedenen Phasen wohl noch sicherer miteinander vergleichen, als dies durch eine Reihe gesonderter Photographien möglich ist.

Der Motor einerseits und der Spiegelapparat andererseits sind in Kugellagern getrennt gelagert; die Achsen sind durch eine Lederscheibenkuppelung verbunden. Der Lichtbogen, der Motor, die rotierenden Spiegel und der Spektralapparat sind auf vier Zementröhren gestellt, die durch Zement fest mit dem Fußboden verbunden sind. So können Tourenzahlen bis zu 3000 Touren pro Minute ohne störende Erschütterung des Apparates erreicht werden.

## C. Fehlerquellen.

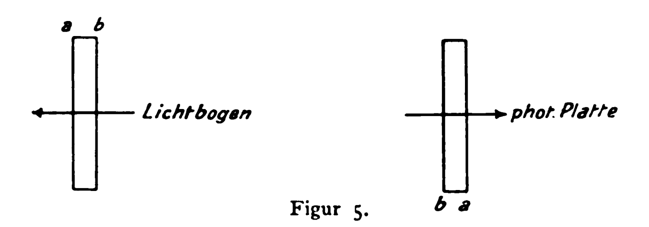
### 1. Die Anzahl der Bildumkehrungen.

Bei der Anordnung von Figur 1, an der oben (Seite 10) das Prinzip des Spektroheliographen auseinandergesetzt wurde, sei der Umdrehungssinn des ersten Hohlspiegels $L_1$ gegeben. Wir müssen fragen, ob jetzt der Umdrehungssinn des anderen Hohlspiegels $L_4$ noch willkürlich gewählt werden darf. Offenbar ist dies erlaubt, wenn die Breite des Spaltes vernachlässigt werden kann. Anders ist es, wenn der Spalt einige Zehntel Millimeter breit ist; das ist gewiß zulässig, wenn zur Aufnahme eine Spektrallinie benutzt wird, in deren nächster Nähe keine Linien von vergleichbarer Helligkeit liegen; vorteilhaft ist dies, weil bei breitem Spalt eine kurze Belichtungsdauer genügt, so daß keine Unschärfe durch Schwankung des Lichtbogens zu befürchten ist.

In einem bestimmten Augenblick möge der in Figur 5 gezeichnete spaltförmige Bezirk des Lichtbogens zur Abbildung gelangen; zwei seiner Ecken sind durch *a*, *b* bezeichnet. Der Apparat kehrt das Bild dreimal um; so entsteht das gezeichnete Spaltbild auf der photographischen Platte. Durch Drehung des Spiegels $L_1$ möge sich der gezeichnete Bezirk in der Pfeilrichtung über den feststehenden Lichtbogen fortschieben. Im nächsten Augenblick wird also ein Nachbarbezirk des Randes *a* abgebildet werden. Dann

muß auch auf der photographischen Platte das Licht zur Nachbarschaft des Randes *a* hingelenkt werden. Dementsprechend muß man den Umdrehungssinn des Hohlspiegels $L_4$ wählen. Z. B. kann man leicht überlegen, daß in dem Apparat von Figur 1 sich beide Spiegel im gleichen Sinne drehen müssen. Dasselbe gilt auch für den praktisch ausgeführten Apparat von Figur 2; deshalb ist es zulässig, die Spiegel auf eine Achse zu setzen.

In dem Spektroheliographen von Hale wird bei Benutzung breiter Spalte immer für die nötige Anzahl von Seitenumkehrungen




Figur 5.

gesorgt.[14] Dagegen besitzt der Spektroheliograph, mit dem Puccianti[15]) den Lichtbogen untersucht hat, eine Seitenumkehrung weniger. Ein Fehler ist das nicht, da Puccianti sich auf einen Spalt von 0,1 mm Breite beschränkte; es ist nur für manche Linien unvorteilhaft.

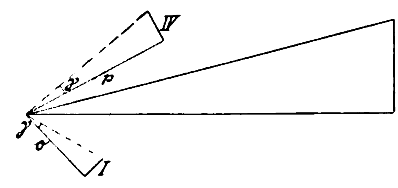
## 2. Verzeichnung.

Der Spektroheliograph liefert leicht Bilder mit starker Verzerrung. Dies rührt daher, daß zwei ganz verschiedene Vorgänge bei der Abbildung zusammenwirken. Wenn die Spiegel alle ruhen, wird ein vertikaler, spaltförmiger Bezirk des Lichtbogens *l* durch die Linsen mit der Vergrößerung $V_v$ in der Ebene IV (Figur 2) abgebildet. $V_v$ läßt sich aus den Dimensionen der Linsen berechnen oder unmittelbar messen, wenn alle Gegenstandsweiten und die zugehörigen Bildweiten bekannt sind; von der Stellung der Spiegel im Strahlengang ist $V_v$ unabhängig, weil es Planspiegel sind.

Jetzt soll bewiesen werden, daß umgekehrt die Vergrößerung in horizontaler Richtung $V_h$ nur von der Stellung der Spiegel abhängt, gar nicht aber von den Linsen. Der Lichtbogen habe die Breite I (Figur 6). Sein Bild wandert von einem Rand bis zum andern über den ersten Spalt des Spektralapparates, wenn nacheinander die Randstrahlen, die am rotierenden Spiegel den Winkel $\gamma$ einschließen, zum Spalt hinreflektiert werden. Im selben Zeitraum

dreht sich auf der Bildseite der Strahl ebenfalls um $\gamma$; und in der Bildebene wandert der Strahl von einem Rande des Bildes zum andern. Die Breite des Bildes sei mit IV bezeichnet, die Abstände des Lichtbogens bzw. des Bildes von den rotierenden Spiegeln mit $o$ und $p$. Dann ist in den ähnlichen Dreiecken von Figur 6 $\frac{IV}{I} = \frac{p}{o}$; $\frac{IV}{I}$ ist aber die Vergrößerung $V_h$ eines jeden horizontalen Streifens.

Damit keine Verzerrung eintritt, muß die Vergrößerung in horizontaler und in vertikaler Richtung gleich sein, also $\frac{p}{o} = V_v$. Wenn zunächst über die Anordnung der Linsen, also über $V_v$ eine




Figur 6.

Wahl getroffen ist (vor allem mit Rücksicht auf das Gesichtsfeld), so ist damit über die Aufstellung der rotierenden Spiegel wegen dieser Formel die Entscheidung auch schon zum Teil getroffen.

Eine unerhebliche Verzeichnung bleibt noch übrig, da die Abbildung durch ein Prisma von dem geraden Kollimatorspalt stets schwach gekrümmte Bilder liefert. Diese Krümmung läßt sich gut durch einen Kreisbogen annähern; deshalb konnte der zweite Spalt auf der Drehbank rund geschliffen werden. Die Krümmung ist für alle Farben fast dieselbe.

Eine weitere, kleine Verzeichnung wird dadurch verursacht, daß der feste Spiegel den Lichtstrahl nach dem Durchgang durchs Prisma zum oberen rotierenden Spiegel schräg hinauflenkt.

Da diese Bildfehler für alle Farben dieselben sind, stören sie nicht beim Vergleich der Bilder; und auf den kommt es allein an.

### D. Zusammenfassende Darstellung der Berechnung.

Schließlich ist zusammenfassend darzustellen, wie die Formeln, die sich im Laufe der vorhergehenden Auseinandersetzung gelegentlich ergeben haben, für die Berechnung des Apparates systematisch auszunutzen sind.

Die Bedeutung der Buchstaben geht aus Figur 2 (Seite 11) hervor; darin bedeuten die Buchstaben *a, d, i* Strecken, die auf dem Umweg über einen Spiegel gerechnet werden.

Gegeben sind zunächst die vier Linsen $L_1$, $L_2$, $L_3$, $L_4$, für die Rechnung also ihre Brennweiten $f$ und ihre Durchmesser.

### 1. Stellung der Linsen.

Gewählt wird zunächst das Gesichtsfeld in der Ebene I, bestimmt durch die maximale Länge des Lichtbogens, den man untersuchen will; ich wählte diese Länge zu 15 mm, also I = 7,5 mm. Für die Stellung der Linse $L_1$ ergeben sich dann die drei Formeln

$$b = c\,\frac{L_1 - \mathrm{II}}{\mathrm{II} + L_1} \quad \text{(Gesichtsfeld);}$$

$$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{II}} = \frac{a}{b}; \qquad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_1} \quad \text{(Linsenformeln).}$$

Die drei Formeln enthalten drei Unbekannte *a, b,* II; diese sind also durch die Formeln bestimmt. Die Ausrechnung führt auf eine quadratische Gleichung.

Zu bemerken ist, daß ein kleinerer Wert von *b* als der hier berechnete ein noch größeres Gesichtsfeld liefert. Jedoch ist es zweckmäßig, auf diesen Vorteil zu verzichten; denn es läßt sich zeigen, daß man gleichzeitig an Lichtstärke verliert.

Die Größen *c* und *d* sind von vornherein festgelegt als Brennweiten der Linsen $L_2$ und $L_3$; dadurch ist auch III bestimmt; *k* und *l* ergeben sich leicht daraus, wieviel Platz das Prisma in Anspruch nimmt.

Die Stellung der Linse $L_4$ ergibt sich aus folgenden Formeln:

$$e = d\,\frac{L_4 - \mathrm{III}}{L_4 + \mathrm{III}} \quad \text{(Gesichtsfeld);}$$

$$\frac{\mathrm{IV}}{\mathrm{III}} = \frac{i}{e}; \qquad \frac{1}{e} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f_4} \quad \text{(Linsenformeln).}$$

Hierdurch sind die drei Unbekannten *e, i,* IV vollständig bestimmt.

Diese Rechnung hat zur Voraussetzung, daß unendlich dünne Linsen benutzt werden. Bei dicken, vor allem bei unsymmetrischen Linsen kann die Rechnung nur als Annäherung aufgefaßt werden. Zur Korrektion ist es notwendig, die Bildweiten und Vergrößerungen

unmittelbar zu messen. Die gesamte Vergrößerung meines Apparates ist 1,82.

### 2. Stellung der Spiegel.

Willkürlich gewählt wird der Abstand $o$ des Lichtbogens vom ersten rotierenden Spiegel. Dieser Abstand muß möglichst klein gewählt werden, damit der Bruchteil einer jeden Spiegelumdrehung, während dessen Licht durch den Apparat geht, nicht gar zu klein wird. Ich wählte $o = 12$ cm. Hierdurch ist zugleich der Abstand $p$ der Platte vom oberen rotierenden Spiegel festgelegt, da die Vergrößerung in vertikaler Richtung $V_v = \frac{\text{IV}}{\text{I}}$ bereits ausgerechnet ist; $p = o\frac{\text{IV}}{\text{I}}$. Die Stellung des dritten, festen Spiegels ist durch die Größe $x$ bestimmt. Der pytagoräische Lehrsatz auf das rechtwinkelige Dreieck von Figur 2 angewandt, liefert folgende Gleichung, in der $x$ nunmehr die einzige Unbekannte ist:

$$(a - o + b + c + k)^2 + (l + x)^2 = (d - x + e + i - p)^2.$$

Genau genommen ist hieran noch eine einfache Korrektion anzubringen, weil die gezeichnete Hypotenuse nur die Projektion des in Wirklichkeit ansteigenden Lichtweges darstellt.

Wenn die vier Linsen gegeben sind, muß zunächst das Gesichtsfeld I gewählt werden und der Abstand $o$ des Lichtbogens vom Spiegel. Dabei ist man praktisch an einen kleinen Spielraum gebunden. Es ist gewiß ein merkwürdiges Resultat, daß nach dieser Wahl sämtliche anderen Größen dieses komplizierten Apparates durch das eben abgeleitete Formelsystem vollständig festgelegt sind. Deshalb ist es durchaus notwendig, vor der Ausführung des Apparates die Rechnung zahlenmäßig durchzuführen.

## III. Beobachtungen am Gleichstromlichtbogen.

### A. Linien.

#### 1. Herstellung der Kohlen.

Um den Lichtbogen im selben Zustand längere Zeit unverändert zu erhalten, ist eine sorgfältige Herstellung der Kohlen unentbehrlich. Das fein gepulverte Metallsalz oder auch Metallfeilspäne wurden gleichmäßig mit Rußkohle gemischt; diese Mischung wurde möglichst fest in die Höhlung einer ausgebohrten Dochtkohle gepreßt.

Diese diente als positiver Pol. Als negativer wurde Homogenkohle benutzt. Durch den Salzzusatz wird die Spannung des Lichtbogens bei gleichem Strom stark erniedrigt. Deshalb kann man an der Spannung recht genau erkennen, ob während der Beobachtungen sich die Konzentration des leuchtenden Dampfes unverändert erhält. Dies muß man natürlich verlangen, wenn man die Bilder verschiedener Linien miteinander vergleichen will.

Über die Herstellung von imprägnierten Kohlen finden sich sehr brauchbare Rezepte vor allem in Patentschriften, bei denen es sich um die Herstellung von technischen Flammenbogenkohlen handelt.[16])

## 2. Natrium.

### a) Gemeinsame Eigenschaften aller Linien.

Die bisherigen Untersuchungen sind ganz überwiegend mit Natrium ausgeführt. Ich wiederholte diese Beobachtungen, weil die bisher publizierten Resultate Widersprüche enthalten. Meine eigene Beobachtung fügt allerdings zu den alten einen neuen Widerspruch hinzu. Nach Lenard läßt sich der Lichtbogen in eine Reihe mantelförmiger Bezirke zerlegen; ihr äußerster emittiert die Hauptserie, der nach innen anschließende die erste Nebenserie usf. Puccianti gibt dasselbe an, nur mit dem Unterschied, daß er den Mantel der zweiten Nebenserie für ebenso groß hält wie den Mantel der ersten.

Auch meine Aufnahmen zeigen die Erscheinung der Höhlung im Bilde des Lichtbogens sehr deutlich.[17]) Den Bildern sämtlicher Natriumlinien (Abb. 1—3 der Tafel) ist gemeinsam, daß in der Nähe des negativen Poles (unten) Helligkeit herrscht; hieran schließt sich ein heller Mantel an. Die Mitte des Bogens und die Nachbarschaft des positiven Kraters sind beim Bilde der Hauptserie (Abb. 1) ganz dunkel. Die Bilder der Nebenserien dagegen (Abb. 2 und 3) zeigen unmittelbar über dem positiven Pol eine helle Flamme, die bei dem Bilde der zweiten Nebenserie (Abb. 3) ganz bis zum negativen Pol hinzureichen scheint, und die von dem erwähnten, hellen Mantel durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. Einen solchen hellen Kern innerhalb des Mantels beobachtete ich bei zahlreichen Bildern von Linien. In allen Fällen stellte sich heraus, daß der Kern von einer an derselben Stelle des Spektrums liegenden Bande herrührt. Es ist gewiß ein Vorteil der Lenardschen Methode des Objektivspektroskopes, daß die monochromatischen

Bilder von Linien nicht in dieser Weise von Banden gestört werden können; denn dort liefern Banden nur eine gleichmäßige Helligkeit des ganzen Hintergrundes. Beim Spektroheliograph kann der Anteil der Bande an einem Bilde auf verschiedene Weise herausgesondert werden. Zunächst liefert die Bande auch für benachbarte Wellenlängen dasselbe Bild. Dies läßt sich an meinem Apparat leicht subjektiv beobachten; bei kontinuierlicher Drehung des Prismentisches erscheint bei den angegebenen Natriumlinien lange Zeit hindurch der Kern hell; die Helligkeit des Mantels dagegen blitzt nur bei einer bestimmten Wellenlänge auf. Dasselbe Resultat erhält man, wenn man bei genau derselben Wellenlänge einen möglichst natriumfreien Lichtbogen[18]) monochromatisch photographiert; dies Bild (Abb. 4) zeigt nur mehr einen hellen Kern. Hieraus folgt, daß bei der Nebenserie ebenso wie bei der Hauptserie Mitte und positive Seite des Lichtbogens von der Emission frei sind oder zum mindesten arm an Emission. In einem späteren Abschnitt wird von einer Beobachtung berichtet, welche zeigt, daß die Höhlungen nicht durch Absorption oder anomale Dispersion vorgetäuscht werden, sondern daß sie reell existieren.

Auf die Höhlung hat es keinen wesentlichen Einfluß, ob die positive Kohle oben oder unten ist; durch eine solche Vertauschung wird nur der Rand des Lichtbogens, offenbar durch die aufsteigenden Luftströme etwas beeinflußt.

Auch wenn statt der positiven Kohle die negative mit Natriumsalz beschickt wird, liegt vor allem in der Nähe des negativen Poles Helligkeit. Diese reicht aber beim Bilde keiner Linie bis zum positiven Pol hin. Hierzu paßt die Annahme, in der die verschiedensten Hypothesen einig sind, daß unter den Emissionszentren dieser Linien keine negativ geladenen sind.

Im allgemeinen wird das Natriumsalz, wie gesagt, in den Docht der positiven Kohle gemischt. Also das einzige, was wir von vornherein über den Weg des Natriums im Lichtbogen wissen, ist, daß es aus dem positiven Krater kommen muß. Deshalb ist es sehr merkwürdig, daß gerade die Umgebung des positiven Kraters gar nicht oder kaum die bekanntesten Natriumserien emittiert. Im Lichtbogen muß also ein Atomzustand existieren, in dem weder die Hauptserie, noch die erste, noch die zweite Nebenserie emittiert wird.

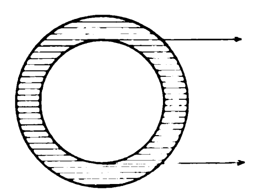
Die geschilderten Höhlungen prägen sich nur gut aus, wenn die Konzentration des leuchtenden Natriumdampfes nicht zu groß ist.

### b) Unterschied zwischen Hauptserie und erster Nebenserie.

Welches sind die Unterschiede zwischen den Bildern der verschiedenen Serien?

Zunächst will ich Hauptserie und erste Nebenserie vergleichen.[19]) Ich untersuchte vor allem $NaH_3$, $\lambda = 589$ und Na $I_4$, $\lambda = 568$. Zwischen Linien gleicher Serie fand ich nie einen Unterschied. Die Photographien und ebenso subjektive Beobachtung zeigen in Übereinstimmung mit den Beobachtungen Lenards und Pucciantis, daß der Mantel der Hauptserie wesentlich weiter ist als der Mantel der ersten Nebenserie. Bei dieser Nebenserie ist der Mantel überhaupt lange nicht so auffallend wie bei der Hauptserie; vielmehr ist das Bild der ersten Nebenserie vor allem durch das starke Helligkeitsmaximum vor dem negativen Pol charakterisiert. Ferner ist das Bild der Hauptserie nach außen verschwommen, das der ersten Nebenserie verhältnismäßig scharf begrenzt. Bei Verkürzung der Belichtungsdauer im Verhältnis 20:3 nahm der unscharfe Rand des Bildes der Hauptserie an Größe ab, das Helligkeitsmaximum des Saumes aber erschien unverändert; und verglichen werden ja nicht die Gesamtgrößen der Bilder, sondern die Lagen der Helligkeitsmaxima. Dies bestätigt die Beobachtungen, durch die Puccianti die Einwendungen Kaysers widerlegt hat.

Um die Breite der Bilder zu messen, fand ich es zweckmäßig, bei der Hauptserie auf das Helligkeitsmaximum rechts und links

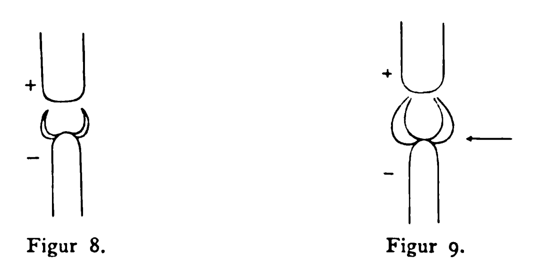


Figur 7.

einzustellen, bei der ersten Nebenserie dagegen auf den äußeren Rand des Bildes; denn das sind in diesen Fällen die am besten definierten Größen. Ich fand, daß auf diese Weise gemessen die Durchmesser der genannten Bilder gleich groß sind; und zwar gilt dies unabhängig von Stromstärke, Bogenlänge und Konzentration des leuchtenden Dampfes. Figur 7 zeigt einen von der Seite in der Richtung der Pfeile betrachteten leuchtenden Hohlzylinder im

Querschnitt. Man sieht, daß der Beobachter die dickste leuchtende Schicht, also das Helligkeitsmaximum dort erblickt, wo die Höhlung beginnt, wobei allerdings von Brechung ganz abgesehen ist. Hiernach enthält die eben angegebene Beobachtung die Aussage: die Emission der ersten Nebenserie beginnt da, wo die Emission der Hauptserie aufhört.

Diese beiden Serien zeigen die größte Helligkeit in der Umgebung des negativen Kraters. Aber auch dort tritt ein Unterschied hervor, wenn man den Natriumgehalt der Kohlen stark verringert. Bei Kohlen, die Natrium nur als Verunreinigung enthalten, erscheint das Bild der *D*-Linien wie in Figur 8 gezeichnet. Bei




Figur 8. Figur 9.

stärkerem Natriumgehalt erscheint zwar die ganze negative Kohle dicht von Dampf umhüllt. Nun ist zu vermuten, daß durch Vermehrung des Natriums einfach die leuchtenden Schichten dicker werden, etwa wie in Figur 9 im Querschnitt gezeichnet. Ein Beobachter, der von der Seite in der Pfeilrichtung den Bogen betrachtet, wird dann über dem Krater intensive Helligkeit wahrnehmen (Abb. 1 der Tafel), die aber in Wahrheit von einer dicken Dampfschicht herrühren kann, die sich am Rande des Bogens befindet. Ganz anders verhält sich die erste Nebenserie; bei ihr ist immer, auch bei geringem Natriumgehalt, die größte Helligkeit über dem negativen Krater; der daran anschließende helle Saum ist viel schwächer als bei der Hauptserie. Das Resultat ist also, daß die Hauptserie vor allem im äußeren Mantel des Lichtbogens emittiert wird; dieser Mantel schmiegt sich dem negativen Pol so an, daß scheinbar über diesem Pol größte Helligkeit liegt. Die erste Nebenserie ist dagegen in Wirklichkeit über dem negativen Pol am hellsten.

An der ersten Nebenserie bestätigte ich eine weitere Messung von Puccianti.[20]) Gemessen wurde der Durchmesser des Bildes als Funktion der Stromstärke. Zu diesem Zweck setzte ich eine Glasscheibe mit Millimeterteilung in die Bildebene und beobachtete

durch das Okular. Dabei ergab sich, daß das Quadrat des Durchmessers, also der Querschnitt proportional dem Strom ist, d. h. die Stromdichte ist konstant.

Bei Natrium lassen sich mit meinem Apparat leicht die Komponenten von Doppellinien getrennt untersuchen. So liefern die beiden *D*-Linien ganz die gleichen Bilder; ferner sind die Bilder der Komponenten von Linie 568 untereinander gleich. Wenn man überhaupt die Komponenten eines solchen Paares verschiedenen Serien zuteilen will, was von manchen Autoren geschieht, so muß man nach dem gleichartigen Aussehen der monochromatischen Bilder doch einen besonders engen Zusammenhang zwischen diesen Serien annehmen. Das folgt ja auch schon aus der besonderen Lage dieser Linien zueinander im Spektrum. Diese Bilder lassen es also auch plausibel erscheinen, daß man beide Komponenten von Paaren zur gleichen Serie rechnet.

### c) Die zweite Nebenserie.

Das monochromatische Bild, das von Linien der zweiten Nebenserie geliefert wird, ist nach Lenard noch kleiner als das von der ersten Nebenserie. Puccianti dagegen hat mit seinem Spektroheliographen für beide Nebenserien gleich große Bilder erhalten. Er erklärt Lenards Beobachtung dadurch, daß die erste Nebenserie wegen der Verschwommenheit ihrer Linien im Objektivspektroskop zu große Bilder liefert. Das ist in der Tat ein prinzipieller Mangel des Objektivspektroskopes, daß die Größe eines jeden Bildes mit von der natürlichen Schärfe der Spektrallinie abhängt.

Ich machte mit dem Spektroheliographen folgende Beobachtung (Abb. 3 der Tafel): Der helle Mantel, der von einer Linie der zweiten Nebenserie geliefert wird, ist sogar noch größer, als der Mantel eines Bildes der ersten Nebenserie; er stimmt also mit einem Mantel der Hauptserie ziemlich überein. Der Durchmesser des Lichtbogens, immer gemessen vom linken Helligkeitsmaximum bis zum rechten, beträgt auf meinen Photographien bei NaH 11,5 mm, bei Na I 10,5 mm, bei Na II wieder 11,5 mm; also die Durchmesser von H und II unterscheiden sich von I fast um 10%; das liegt gewiß außerhalb der Fehlergrenze. Ferner ist bei der zweiten Nebenserie kein so auffallendes Helligkeitsmaximum über dem negativen Pol vorhanden wie bei der ersten; vielmehr ist für die zweite Nebenserie wieder die mantel-

förmige Verteilung der Helligkeit charakteristisch. Auch hierin liegt eine Ähnlichkeit mit der Hauptserie. Solche Photographien habe ich wiederholt hergestellt. Stromstärke und Bogenlänge, die einen erheblichen Einfluß auf den Durchmesser des Lichtbogens haben, wurden sorgfältig konstant gehalten; daß die Konzentration des Natriumdampfes im Bogen konstant blieb, wurde durch Beobachtung der Spannung festgestellt; immer war das Resultat dasselbe.

Daß das Bild, das von Na II geliefert wird, deutlich gehöhlt erscheint, wird durch eine Messung von Hale und Adams[21]) bestätigt. Diese photographierten nebeneinander das Spektrum von Mitte und Rand des Lichtbogens und stellten mit dem Photometer fest, daß das Paar 6155/6161 von Na II am Rand zwei bis dreimal so intensiv ist wie im Kern. Natürlich kann diese Methode keine genaueren Angaben über die Verteilung der Emission auf die Teile des Lichtbogens liefern.

Puccianti gibt selbst an, daß diese Aufnahmen mit seinem Apparat besonders schwierig gewesen und nicht immer gelungen seien. In der Tat liegen hier besondere Schwierigkeiten vor. Die zweite Nebenserie ist gut zu sehen eigentlich nur bei einigermaßen starkem Natriumbeisatz. Nun darf bei den monochromatischen Aufnahmen aber nur wenig Natrium im Lichtbogen anwesend sein, weil sich sonst die Höhlungen nicht schön ausprägen. Die Aufnahmen müssen also mit äußerst schwachen Linien vorgenommen werden. Das erste sichtbare Glied der Serie, Na $II_4$, liegt im Roten, ist also zum Photographieren schlecht zu brauchen; Na $II_5$ fällt gerade in die hellste Kohlebande, $\lambda = 5165$; so war ich auf Na $II_6$, $\lambda = 475$, angewiesen, wenn auch diese Linie ihrer hohen Ordnungszahl entsprechend recht lichtschwach ist. Durch solche Schwierigkeiten möchte ich das abweichende Resultat von Puccianti erklären.

Bei meinem Apparat wurde zur Aufnahme der rotierende Doppelspiegel hin und her gedreht; bei diesen schwachen Linien brauchte ich gelegentlich für eine Aufnahme 3000 solcher einzelnen Belichtungen, die etwa 20 Minuten in Anspruch nahmen. Währenddessen beobachtete ich ein stark vergrößertes Bild des Bogens, das eine Hilfslinse auf ein Stück Millimeterpapier entwarf. So konnte ich etwa alle 20 Sekunden die Bogenlänge mit der Hand genau nachregulieren, wenn nötig auch die Stromstärke. Schwankungen des Lichtbogens während der Belichtung können wohl den äußeren Rand der Bilder zu weit nach außen rücken; jedoch können sie die seitlichen Helligkeitsmaxima, nach denen ich die Breite der Bilder

beurteilte, nicht verschieben, nur unschärfer machen. Wider Erwarten lieferte dies Verfahren scharfe Bilder (Abb. 3, 4 und 5 der Tafel). Allerdings ist Abb. 5 nicht mit einer Linie der zweiten Nebenserie aufgenommen, sondern mit $\lambda = 5536$ von Barium, das als geringe Verunreinigung anwesend war (der helle Kern rührt von einer Kohlebande her); das Bild soll nur zeigen, daß diese Methode zu scharfen Bildern führt.

Lenard hat außer den drei bis dahin bekannten Serien noch weitere Natriumlinien im Lichtbogen aufgefunden und ihre Verteilung über den Bogen untersucht.[22]) Das ist mir mit dem Spektroheliographen nicht gelungen. Hier kommt ein Vorteil des Objektivspektroskopes zur Geltung; bei diesem Apparat braucht man eine Linie nur gelegentlich aufblitzen zu sehen, dann kann man schon ihr monochromatisches Bild beobachten und mit den Bildern anderer Linien, die man ja zur selben Zeit sieht, vergleichen. Im Spektroheliograph dagegen muß eine schwache Linie, damit ihr Bild photographiert werden kann, längere Zeit gleichmäßig leuchten; und auch bei der subjektiven Beobachtung, die überhaupt viel unsicherer ist, braucht man einige Zeit, um nacheinander wiederholt die verschiedenen Linien genau auf den zweiten Spalt einzustellen.

### d) Folgerungen.

Lenard hat aus seinen Beobachtungen am Lichtbogen zusammen mit zahlreichen anderen Experimenten Schlüsse gezogen auf die Emissionszentren der Serien. Deshalb ist die Frage zu stellen: Wie weit werden Lenards Schlüsse durch die Abweichung, die der Spektroheliograph an der zweiten Nebenserie zeigt, beeinträchtigt? Zunächst macht Lenard die Hypothese, daß ein Atom soviel Nebenserien emittieren kann, wie es Elektronen abspalten kann. Spezieller nimmt er dann an, bei der Hauptserie sei noch kein Elektron abgegeben, bei der ersten Nebenserie eins usf. Er nimmt also an, daß die übliche Numerierung der Serien tatsächlich einer in der Natur begründeten Reihenfolge entspreche. Nur diese letzte Spezialisierung wird durch die Beobachtung mit dem Spektroheliographen unwahrscheinlich gemacht. Denn die Entdeckung, daß die Serien im Lichtbogen eine ihrer Bezeichnung entsprechende natürliche Reihenfolge besitzen, hat sich an der zweiten Nebenserie nicht bestätigt.

An manchen Punkten sind Beziehungen gefunden zwischen der Hauptserie und der zweiten Nebenserie. Rydberg[23]) hat zwischen

den Konstanten der Serienformeln einen Zusammenhang gefunden. Bei Sauerstoff kann man sogar die Formel für die Hauptserie aus der zweiten Nebenserie berechnen.[24]) Bestätigt sind diese Beziehungen durch das Intensitätsverhältnis der Komponenten eines jeden Paares.[25]) Eine Gemeinsamkeit gänzlich anderer Art besteht zwischen diesen Serien beim Zeemaneffekt;[26]) dieselben Typen erscheinen bei der Hauptserie und der zweiten Nebenserie. Eine neue Beziehung von wiederum anderer Art liefert jetzt der Spektroheliograph: Hauptserie und zweite Nebenserie bevorzugen beide im Lichtbogen denselben Ort.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes über die Serien des Natriums: Die erste Nebenserie bevorzugt immer den Raum vor dem negativen Krater; das ist im metallhaltigen Lichtbogen der Ort des größten Potentialgefälles; denn der Salzzusatz erniedrigt nur das Potentialgefälle von Anode und Lichtbogensäule, immer bei gleichem Strom betrachtet; die Erniedrigung des Kathodenfalles ist viel unerheblicher. Dies legt die Auffassung nahe, daß diese Serie durch Zusammenstöße erregt wird, die dort besonders heftig sein müssen. Dagegen bevorzugen die Hauptserie und mit ihr die zweite Nebenserie den äußeren Mantel des Lichtbogens. Hierzu paßt gut die Hypothese, die durch andere Beobachtungen nahegelegt ist, daß die Hauptserie durch chemische Vorgänge, an denen die umgebende Luft mit beteiligt ist, also Oxydation oder Reduktion, erregt wird.

Später werde ich die monochromatischen Bilder von Banden beschreiben, die von den Molekülen chemischer Verbindungen emittiert werden (Abb. 9 der Tafel). Auch diese bevorzugen den äußeren Mantel des Lichtbogens; aber bei ihnen ist kein Unterschied zu sehen zwischen dem positiven und dem negativen Pol; an beide reichen sie rechtwinklig heran. Dagegen bei dem Bilde der $D$-Linien sieht, wie beschrieben, die positive Seite gänzlich anders aus als die negative. Deshalb muß man doch wohl bei den $D$-Linien, auch wenn man chemischen Einfluß annimmt, eine andere Natur des Emissionszentrums oder eine andere Art der Schwingungserregung annehmen als bei den Banden, wenn sich auch speziellere Vorstellungen aus diesen monochromatischen Bildern gewiß nicht herleiten lassen.

### 3. Lithium.

Lithium[27]) zeigte dasselbe Verhalten wie Natrium. Die Hauptserien beider Elemente liefern gleich große, gehöhlt erscheinende

Bilder, ebenfalls die ersten Nebenserien. Für die zweite Nebenserie benutzte ich Li $II_4$, $\lambda = 4972$. Da ich sehr lange belichten mußte, erhielt ich keine guten Bilder und kann keine so sicheren Angaben wie bei Natrium über die Größe des Mantels machen. Aber auch hier tritt gänzlich deutlich hervor, daß die erste Nebenserie über dem negativen Krater ein starkes Helligkeitsmaximum liefert, das bei dem Bilde der zweiten Nebenserie ganz oder fast ganz fehlt.

### 4. Calcium.

Die hellste Calciumlinie des sichtbaren Spektrums, $\lambda = 4227$ (*g* des Sonnenspektrums) verhält sich nach Puccianti wie eine Hauptserienlinie. Dies letztere ergibt sich auch aus meinen Beobachtungen.[28]) Mit den *D*-Linien hat diese Linie ja auch die weitere Eigenschaft gemeinsam, daß beides die einzigen Linien ihrer Elemente sind, die im Bunsenbrenner auftreten. Der Vergleich von $\lambda = 4227$ und einer Linie von Ca I fällt ebenso aus, wie beim Natrium der Vergleich von Hauptserie und erster Nebenserie; $\lambda = 4227$ liefert einen hellen Mantel; dessen Helligkeitsmaximum fällt mit dem Rand von Ca I, $\lambda = 4456$ zusammen. Ca I besitzt ein Helligkeitsmaximum über dem negativen Pol, schwach ausgeprägt ist der helle Mantel. Beide Linien liefern außerdem eine Lichtsäule im Kern; wie bei Natrium läßt sich jedoch beweisen, daß diese von einer Bande gleicher Wellenlänge herrührt. Die Linie 4227 liefert ein nach außen verschwommenes Bild; ganz auffallend scharf ist dagegen das Bild von Ca I begrenzt; der Durchmesser dieses Bildes ist wohl bis auf 1 % genau definiert. Die Linien *H* und *K*, $\lambda = 3969$ und 3934 liefern etwa die gleichen Bilder wie die unten beschriebenen Aluminiumlinien.

Bei geringem Calciumgehalt des Bogens (gewöhnliche Dochtkohle ohne besonderen Calciumbeisatz) zeigt die Linie 4227 eine Form, die wie bei den *D*-Linien (S. 24) vermuten läßt, daß über dem Pol keine Emission liegt, sondern nur seitlich davon. Dagegen Ca I zeigt in diesem Fall direkt über dem negativen Pol einen kleinen, leuchtenden Ansatz.

Die zweite Nebenserie von Ca hat leider keine Linien in dem Teil des Spektrums, den man durch einen Glasapparat gut photographieren kann.

Über eine weitere Beobachtung am Ca-Spektrum berichte ich unten (S. 39).

### 5. Aluminium.

Lenard gibt an, die kleinsten Höhlungen im Lichtbogen habe er dicht unterhalb 4000 AE. gesehen an zwei Linien, die er, wenn auch nicht mit Sicherheit, dem Aluminium zuschreibt. Da diese Linien, $\lambda = 3962$ und $\lambda = 3944$, der zweiten Nebenserie angehören, für welche der Spektroheliograph bei Natrium ein neues Resultat ergeben hatte, untersuchte ich sie auch.[29]) Es fand sich ein wesentlich anderes Verhalten als bei Natrium und Lithium. Das Bild dieser Linien (Abb. 6 der Tafel) ist immer über die ganze Fläche des Lichtbogens hell, nach außen unscharf begrenzt; ein starkes Intensitätsmaximum liegt über dem negativen Pol. Um eine etwa vorhandene Höhlung nachzuweisen, verkürzte ich zunächst die Belichtungszeit, aber ohne Erfolg; nur die Helligkeit über dem negativen Pol blieb schließlich sichtbar. Dann benutzte ich eine von Aluminium freie Kohle in der Vermutung, daß das Bild durch eine Bande gleicher Wellenlänge gestört sei; auch das war nicht der Fall. Schließlich verringerte ich die Konzentration des leuchtenden Dampfes; der Docht der positiven Kohle bestand aus 1 Teil Al auf 300 Teile Rußkohle. Hier zeigte sich zwar etwas ähnliches wie eine Höhlung (Abb. 7 der Tafel). Aber die Form ließ schon vermuten, daß sie auf folgende Weise zustande gekommen sei: Die aus dem oberen, positiven Krater kommenden Emissionszentren geraten mitten auf ihrem Wege zum negativen Pol in die Nähe des Randes; dort werden sie von dem aufsteigenden Luftstrom ergriffen und wieder nach oben gerissen; so entstehen die seitlichen Zipfel. Diese Vermutung wurde bestätigt dadurch, daß oben und unten vertauscht wurde. Dann kann der Luftstrom nicht in dieser Weise die Strömung der positiv geladenen Metallteilchen stören, weil er gleiche Richtung hat. In der Tat verschwand dann diese Höhlung vollständig. Dagegen konnte niemals eine Höhlung bei einer Alkalilinie durch Vertauschung von oben und unten zum Verschwinden gebracht werden.

Die Serie Al II verhält sich also wesentlich anders als Na II. In der Tat scheint nach Kayser[30]) nicht eine besondere Analogie mit den Alkalimetallen hier zur Bezeichnung zweite Nebenserie geführt zu haben.

Das Resultat ist also, daß am Aluminium eine neue Form von Lichtbogenbildern gefunden wurde; ferner wurde bei dieser Gelegenheit eine Fehlerquelle nachgewiesen.

#### 6. Magnesium.[31])

Die drei charakteristischen, grünen Magnesiumlinien, $\lambda = 5184$, 5173, 5168, liefern alle denselben Typus, der eben beim Aluminium beschrieben wurde; diese drei Linien gehören einem Triplet an.

#### 7. Folgerung.

Lenard hat die Erwartung ausgesprochen, daß die Untersuchung monochromatischer Bilder zur Auffindung von Spektralserien führen kann. Die Methode des Objektivspektroskopes erscheint hierfür nicht vollständig zuverlässig, weil dabei die Bildgröße vom Charakter der Linie beeinflußt wird und weil man ferner manche Einzelheiten überhaupt kaum unterscheiden kann, z. B. die Schärfe des Bildrandes, ferner das Verhalten seitlich neben den Kohlen. Beim Spektroheliograph treten allerdings wesentliche Schwierigkeiten bei der Untersuchung lichtschwacher Linien auf.

Wie mannigfaltig im übrigen die Gesichtspunkte sind, nach denen die Linien gruppiert werden können, das zeigen folgende Fragen, die der Spektroheliograph im einzelnen Fall beantworten kann: Zeigt das Bild eine Höhlung? Wie groß ist eventuell der Mantel? Hat das Bild ein starkes Intensitätsmaximum an einer bestimmten Stelle? Ist die Grenze des Bildes scharf? Wie ist bei äußerst geringer Konzentration des leuchtenden Dampfes der Ansatz der Flamme am negativen Pol?

Es zeigt sich also, daß der Spektroheliograph wohl gelegentlich für das Aufsuchen von Serien bei Linien normaler Lichtstärke Verwendung finden kann.

### B. Monochromatische Bilder von Banden.

#### 1. Erster Typus.

a) Lenards Untersuchung.

Monochromatische Lichtbogenbilder mit Banden sind bisher nur mit Cy 4216 beobachtet. Diese Bande ist die einzige, die Lenard[32]) in seinem Objektivspektroskop untersuchen konnte; denn ihre Kanten übertreffen das übrige so sehr an Helligkeit, daß die Bande besonders in einem lichtschwachen Apparat fast wie eine Reihe von Linien erscheint. Lenard fand, daß diese Bande im Kern des Lichtbogens am hellsten ist und daß ihre Intensität zum Rand abnimmt; das ganze Bild erscheint kleiner als das Bild einer Hauptserienlinie. Puccianti bestätigte dies mit dem Spektroheliographen.[33]) Auch mit meinem Apparat erhielt ich dasselbe Resultat (Abb. 8 der Tafel).

b) Neu untersuchte Banden.

Ich dehnte sodann die Untersuchung auch auf die anderen Cyan- und Kohlebanden aus; auch diese liefern alle die gleichen Bilder. Teils habe ich diese Bilder photographiert, teils mit dem Auge beobachtet. Banden, wie z. B. C 5165, die nicht annähernd so schnell abschattiert sind wie Cy 4216, sind unzugänglich für das Objektivspektroskop, sehr leicht aber zu untersuchen mit dem Spektroheliographen. Ich untersuchte folgende Kanten:

Cy 4216, 4197, 4181, 4168, 4158, 4152.
Cy 4606, 4578, 4553, 4532, 4515, 4502, 4494.
C 4737, 4714, 4697, 4684, 4680.
C 5165, 5128, 5098.
C 6535.

Ferner habe ich zahlreiche Stellen der Banden zwischen diesen Kanten untersucht und auch dabei immer Bilder von derselben Form gesehen.

Lehrreich ist eine subjektive Beobachtung des monochromatischen Bildes eines Lichtbogens, der zwischen nicht imprägnierten Kohlen brennt, während man durch langsame Drehung des Prismas allmählich alle Wellenlängen am zweiten Spalt vorüberziehen läßt. In den meisten Teilen des Spektrums erscheint das Bild, das eben für die C- und Cy-Banden beschrieben ist; z. B. im Rot ist fast nichts anderes sichtbar. Nur selten, z. B. im Grün, erscheint außerdem die Aureole hell in einer Form, die unten als zweiter Typus von Bandenbildern beschrieben wird; zwischen ihr und dem hellen Kern liegt noch ein dunkler Raum. Vereinzelt blitzen, besonders am negativen Pol, Bilder von Metallinien auf.

Sehr wohl paßt dazu der Anblick, den ein gewöhnliches, reelles Bild des Lichtbogens bietet; darin ist der Kern violett wohl vor allem durch Cy 4216, das die anderen Banden dieses Typus an Helligkeit übertrifft; der Mantel aber erscheint grünlich.

Nicht im Einklang hiermit steht eine Bemerkung von Hagenbach und Konen:[34]) „Man bemerkt im Innern des Bogens die Cyanbanden, am Rande die sogenannten Kohlebanden". Zwar erhält man, wenn man auch nur den äußersten Rand eines Lichtbogens auf den Spalt eines Spektrographen projiziert, die Kohle- und die Cyanbanden gut sichtbar. Jedoch zeigen die monochromatischen Bilder deutlich, daß die stärkste Emission für die Kohlebanden ebenso wie für die Cyanbanden im Kern liegt. Die Beobachtung

des Lichtbogenkernes durch die durchbohrte Achse einer Kohle, worüber unten berichtet wird, bestätigt dies Resultat.

c) Zusammenhang mit einem Problem der Sonnenphysik.

Das geschilderte Verhalten der Cyanbanden im Lichtbogen läßt sich in Zusammenhang bringen mit Beobachtungen auf der Sonne. Auch auf der Sonne sind diese Banden nachgewiesen. Nun hielt Lockyer das Vorhandensein von Banden bei der Temperatur der Sonne für sehr unwahrscheinlich. Er machte deshalb die Hypothese, daß diese Banden in einiger Entfernung vom Sonnenkern emittiert würden, also in einem Niveau, wo man keine allzu hohen Temperaturen anzunehmen braucht. Hiergegen sind verschiedene Einwände erhoben. Im Widerspruch mit dieser Hypothese steht gewiß auch die Beobachtung, daß die Cyanbanden beim Lichtbogen gerade den Kern bevorzugen.

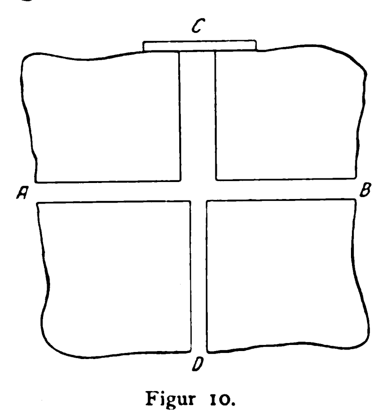
d) Herkunft der Cyanbanden.

Über die Herkunft der Cy-Banden bestehen verschiedene Ansichten. Bewiesen ist, daß C und N am Ort der Emission anwesend sein müssen. Als Emissionszentrum kann man ein Molekül einer Kohlenstoff-Stickstoffverbindung annehmen; manche Versuche sprechen aber dafür, daß nicht ein ganzes Molekül emittiert, sondern daß die Emission etwa durch Zusammenstöße von C- und N-Atomen hervorgerufen wird. Hierfür sprechen auch die geschilderten Beobachtungen; denn gerade im Kern des Lichtbogens kann man wohl kaum ein unzerstörtes Molekül annehmen.

e) Änderung der Konzentration.

Die Konzentration des emittierenden Dampfes kann bei den Metallspektren leicht durch Änderung des Salzgehaltes variiert werden. Bei den C- und Cy-Banden ist das gleiche nicht ohne weiteres möglich. Dagegen kann man erstens die Intensität dieser Banden durch starken Zusatz irgend eines Metallsalzes schwächen. Zweitens ist etwas ähnliches wie eine Verringerung der Konzentration bei den Cy-Banden zu erreichen durch Beseitigung des Stickstoffs aus der umgebenden Atmosphäre. Das wurde mit einem Apparat ausgeführt, der einem von Kayser und Runge[35]) angegebenen nachgebildet ist. In ein Stück Retortenkohle wurden kreuzweise Löcher gebohrt (in Figur 10 im Querschnitt gezeichnet). Bei *A* und *B* wurden dünne Kohlen isoliert durchgeführt; in der Mitte brannte der Lichtbogen. *C* war durch eine Quarzplatte abge-

schlossen; hierdurch wurde beobachtet. Bei *C* wurde durch eine nicht gezeichnete Öffnung, die auf der Ebene der Zeichnung senkrecht stand, Kohlensäure eingeblasen, so daß sie durch den Lichtbogen zog und bei *D* austrat. Es ergab sich, daß bei verminderter Intensität dieser Banden auch die Intensität ihrer monochromatischen Bilder gleichmäßig abnimmt.




Figur 10.

### f) Unterschied gegen die Linienbilder.

Kein einziges der von mir untersuchten Linienbilder verhält sich so wie der eben geschilderte Bandentypus. Am nächsten kommen ihm die Aluminiumlinien 3962 und 3944 (vgl. Abb. 6 und 8 der Tafel). Aber auch diese unterscheiden sich durch ein charakteristisches Merkmal von den Banden; ihre Bilder sind bei weitem am intensivsten am negativen Pol, so daß bei geringer Konzentration fast nur dort Helligkeit übrig bleibt.

## 2. Zweiter Typus.

### a) Beschreibung der Bilder.

Einen gerade entgegengesetzten Typus von monochromatischen Bildern liefern sämtliche anderen Banden, die ich untersucht habe (Abb. 9 der Tafel).

Hier erscheint der Mantel des Lichtbogens auffallend viel intensiver leuchtend als der Kern. Natürlich sagen die Bilder nicht aus, ob das Innere des Bogens schwächer oder gar nicht emittiert. Der helle Mantel reicht rechtwinklig an die Kohlen heran. Positive und negative Seite des Bogens sehen gleich aus (abgesehen von der verschiedenen Kohlendicke). Nur reicht der leuchtende Mantel wegen der aufsteigenden Luftströme an der oberen Kohle weiter als an

der unteren. Der Hohlraum ist größer als der Bereich, in dem die Cy- und C-Banden stark emittiert werden. Denn für Wellenlängen, bei denen sich beide Typen von Banden im Spektrum überdecken, erscheint im monochromatischen Bilde zwischen dem hellen Mantel und dem hellen Kern ein dunkler Zwischenraum.

### b) Herkunft der Banden des zweiten Typus.

Über die Herkunft dieser Banden vom zweiten Typus ist im Gegensatz zum ersten Typus mit den monochromatischen Bildern die nächstliegende Annahme verträglich, daß die Banden vom unzerstörten Molekül einer Verbindung emittiert werden; denn im Saum des Lichtbogens kann man gewiß Moleküle annehmen.

### c) Untersuchte Banden.

Im folgenden werde ich zunächst berichten, welche Banden Bilder vom zweiten Typus liefern.

Magnesium.

Untersucht wurden die dem MgO zugeschriebenen Kanten 5005, 4994, 4984, 4973, 4962. Außer dem Mantel erscheint in dieser Gegend des Spektrums der Kern des Bogens im Bilde hell; daß aber der Mantel und nicht der Kern von MgO hell geliefert wird, ergibt sich bei Betrachtung des Spektrums selbst; die charakteristisch gegliederten MgO-Banden erscheinen nur dann deutlich, wenn der Rand des Bogens auf den Collimatorspalt projiziert wird. Wird dagegen die Mitte projiziert, so erscheinen statt dessen andere Banden.

Calcium.

Untersucht wurden die Kanten des $CaF_2$ bei 6037, 6051, 6064, 5840 und die Kanten des $CaCl_2$ bei 618, 619, 621.

Strontium.

Untersucht wurden die Kanten des $SrF_2$ bei 651, 653 und die Kanten des $SrCl_2$ bei 636, 661, 674. Sodann wurde eine mit Sr-Salz imprägnierte Flammenbogenkohle für rotes Licht benutzt. Bei dieser habe ich eine Bande untersucht, deren Bau wesentlich vom gewöhnlichen abweicht; der Abstand ihrer Linien nimmt nicht bis zur Kante ab, sondern bleibt konstant = 4,0 AE. Die Kante ist nach Violett gerichtet; sie liegt bei 5629 (davor ein schwacher Vorläufer).

Barium.

Untersucht wurden die diffusen Maxima des $BaCl_2$ (?) bei 5137,



5172, 5242, 5316; ferner die Banden des $BaF_2$ bei 495, 499, 500. Sodann wurden die Kanten bei 5350, 5493, 5601, 5644, 5701, 5863 untersucht; von diesen geben Hagenbach und Konen[36]) an, daß ihr Bau Eigentümlichkeiten besitzt und daß sie wahrscheinlich dem Bariummetall selbst zuzuschreiben sind.

Borsäure.

Untersucht wurden die diffusen Maxima bei 600, 580, 545, 520, 490, 470, 450.

Aluminium.

Untersucht wurden die vermutlich dem Oxyd zugehörigen Kanten 5106, 5082, 4844, 4869, 4651, 4675, 4519, 4496. Bei Aluminium kann man diesen Typus von Bildern sehr gut ohne Spektroheliograph beobachten, wenn man durch eine Linse ein reelles Bild des Lichtbogens entwirft; der Docht der positiven Kohle besteht am besten aus gleichen Teilen Aluminiumfeilspänen und Rußkohle. Der Mantel des Bildes erscheint intensiv grün gefärbt. Diese Erscheinung kann nur von Banden herrühren; denn Aluminium emittiert im Lichtbogen überhaupt keine Linien im gut sichtbaren Spektrum.

Chrom.

Untersucht wurden die einer Sauerstoffverbindung zugeschriebenen Kanten bei 640, 605, 557. Außerdem erscheint bei diesen Bildern der Kern des Lichtbogens hell. Daß aber vom Chrom nur der helle Mantel herrührt, ergibt sich daraus, daß man gerade den Mantel auf den Spalt eines Spektroskopes projizieren muß, um im Spektrum die Chrombanden sichtbar zu machen.

Mangan.

Untersucht wurden die einer Sauerstoffverbindung zugeschriebenen Kanten bei 6178, 6205, 6240. Auch bei diesen Bildern erscheint wieder außer dem Mantel der Kern hell. Daß aber nur die Helligkeit des Mantels vom Mangan herrührt, wurde nach zwei Methoden festgestellt. Erstens durch Beobachtung des Spektrums wie beim Chrom; zweitens beobachtete ich monochromatische Bilder des Bogens zwischen manganfreien Kohlen für dieselben Wellenlängen; es zeigte sich, daß nach Beseitigung des Mangans die Helligkeit des Mantels verschwindet; der helle Kern aber bleibt bestehen.

Außer den hier angegebenen Kanten habe ich bei allen Banden, deren Intensität hinreicht, auch Wellenlängen zwischen den Kanten untersucht und auch dabei immer denselben Typus von Bildern gesehen.

d) Klassifizierung dieser Banden.

Die geschilderten Beobachtungen weisen darauf hin, daß hier ein allgemein gültiges Gesetz vorliegt. Um dies festzustellen, bemühte ich mich, die Untersuchung auf Banden von möglichst verschiedenen Eigenschaften auszudehnen. Die eben genannten Banden lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten in folgende Klassen teilen: Banden mit Kanten (z. B. Al und viele andere) — diffuse Banden (Borsäure, $BaCl_2$); Banden verschiedenen Baues (Ba, Sr haben Besonderheiten); Banden von Verbindungen (Oxyde, Chloride, Fluoride, Borsäure) — Banden eines Metalles selbst; die meisten Banden haben keinen nachweisbaren Zeemaneffekt — unter den untersuchten sind aber auch alle, an denen Dufour[37]) Zeemaneffekt von normaler Größe nachgewiesen hat, nämlich $CaF_2$, $SrF_2$, $BaF_2$, $CaCl_2$, $SrCl_2$, $BaCl_2$.

e) Änderung der Konzentration.

Die Konzentration des leuchtenden Dampfes wurde bei Al und bei Ca variiert. Bei Al wurde der Metallgehalt des Dochtes auf den 30. Teil herabgesetzt; für Ca wurde eine nicht imprägnierte Dochtkohle benutzt, die Ca nur als Verunreinigung enthielt. Immer ergab sich, daß durch die Verringerung des Metallgehaltes die Bilder der Banden gleichmäßig geschwächt werden, also anders als die Bilder von Linien. Ein Gegensatz zu den Linien zeigt sich andrerseits auch bei sehr starker Konzentration des Dampfes, z. B. bei einem Docht aus reinem Magnesium oder aus gleichen Teilen Al und Kohle oder bei den käuflichen Flammenbogenkohlen; die Höhlung der Bandenbilder tritt gerade hier prachtvoll hervor; dagegen die Bilder von Linien erscheinen bei solcher Konzentration fast alle ungehöhlt; nur die Bilder von Flammenlinien, wie Ca 4227, Ba 5536, zeigen noch eine Spur von Höhlung.

f) Unterschied gegen die Linienbilder.

Der geschilderte zweite Typus von Bandenbildern unterscheidet sich von sämtlichen Linienbildern, die ich beobachtet habe. Am nächsten kommen ihm die Bilder von Flammenlinien, wie Na 589, Ca 4227, Ba 5536. Aber auch hier ist ein Unterschied unverkennbar, der deutlich auf den Abb. 5 und 9 der Tafel hervortritt. Der Mantel der Bande tritt rechtwinklig an die negative (obere) Kohle heran, dagegen der Mantel der Bariumlinie schmiegt sich ihr tangential an. (Der helle Kern in Abb. 5 rührt von einer Kohle-

bande gleicher Wellenlänge her.) Deshalb kann man auf dem Bilde einer Flammenlinie den Umriß der negativen Kohle meist überhaupt nicht unterscheiden, so dicht ist er von Dampfwolken verhüllt; darin bildet Abb. 5 eine Ausnahme, weil hierbei Barium überhaupt nur als unbeabsichtigte Verunreinigung in der Kohle anwesend war und deshalb der leuchtende Mantel dünn erscheint. Im Gegensatz dazu ist bei dem Bilde der Bande immer der Umriß auch der negativen Kohle scharf begrenzt sichtbar. Sehr augenfällig tritt dieser Gegensatz bei den gelben Banden der Borsäure hervor; bei langsamer Drehung des Prismas sieht man durch das Okular dauernd ein Bild vom zweiten Typus; nur in dem Augenblick, wo der zweite Spalt die *D*-Linien heraussondert, leuchtet die ganze Nachbarschaft der negativen Kohle hell auf.

Ein charakteristischer Gegensatz zwischen Bandenbildern einerseits und Linienbildern andererseits zeigt sich, wie unter e) angegeben, wenn man die Konzentration des leuchtenden Dampfes variiert.

### 3. Anwendungen.

Die letzten Abschnitte haben zu dem Resultut geführt: Banden liefern zwei wohl charakterisierte Typen von monochromatischen Bildern; keine einzige Linie liefert ein Bild dieser Typen. Streng beweisen läßt sich dieser Satz allerdings nur dadurch, daß sämtliche im Lichtbogen möglichen Linien und Banden untersucht werden. Zunächst jedoch werde ich diesen Satz als bewiesen annehmen.

Kayser[38]) spricht in seinem Handbuch den Satz aus, daß zwischen Banden und Linien ein fundamentaler Unterschied besteht, daß zwischen beiden also keine Übergangsgebilde möglich sind. Als Beweis führt Kayser zwei Phänomene an, bei denen sich alle Linien einerseits deutlich anders verhalten als alle Banden andererseits. Mir scheint, daß die soeben dargestellten Beobachtungen an monochromatischen Bildern ein neues Argument für Kaysers Satz liefern; denn nie habe ich ein Bild gesehen, das zwischen Bandenbildern und Linienbildern in der Mitte steht.

So deutlich erkennbar ist dieser Unterschied, daß nach dem bloßen Anblick des monochromatischen Lichtbogenbildes ohne Untersuchung des Spektrums ausgesagt werden kann, ob das Bild von einer Bande oder einer Linie herrührt. Damit ist ein Kriterium gewonnen, ob irgend eine Emission als Linie oder Bande aufzufassen ist. Angewandt habe ich dies Kriterium auf Linien der ersten

Nebenserie von Calcium. Nach Rydberg[39]) legen einige Spektralformeln die Auffassung nahe, daß die Linienpaare dieser Serie in Wahrheit Kanten einer unsichtbaren Bande sind; um zu erklären, daß man von dieser Bande nichts sieht, nimmt Rydberg einen außerordentlich starken Intensitätsabfall hinter der Kante an. Daraufhin untersuchte ich das Linienpaar 4435/36. Dies monochromatische Bild hat gänzlich die Form von anderen Bildern einer Linie, und zwar einer ersten Nebenserie, charakterisiert durch einen hellen Mantel, der die positive Kohle frei läßt, an der negativen dagegen ein Intensitätsmaximum besitzt; bei hoher Konzentration verschwindet die Höhlung; ist jedoch Ca nur als Verunreinigung anwesend, bleibt nur ein sehr kleiner leuchtender Ansatz über dem negativen Pol übrig. Daraus schließe ich, daß diese Emission als Linie aufzufassen ist.

Dasselbe Kriterium könnte man z. B. auf die Phosphoremission zwischen 3200 und 3300 anwenden; nach Hagenbach u. Konen[40]) steht es nicht fest, ob dies Linien oder Banden sind. Ich kann jedoch diese Beobachtung nicht ausführen, da mein Apparat für Ultraviolett nicht durchlässig ist.

## IV. Bestätigung der Resultate des Spektroheliographen.

### A. Einwände gegen die monochromatischen Bilder.

Gegen die monochromatischen Bilder des Lichtbogens sind Einwände verschiedener Art erhoben. Zunächst hat Kayser Lenards Beobachtung einer Höhlung im Bilde des Lichtbogens überhaupt bestritten. Dieser Einwand ist schon durch Pucciantis Photographien widerlegt. Nach meinen Bildern erscheint es wohl auch unzweifelhaft, daß eine solche Höhlung zu beobachten ist. Weiter haben dann Stark[41]) und Kayser[42]) auf die Möglichkeit hingewiesen, daß eine Höhlung zwar auf den Bildern erscheint, daß sie aber lediglich durch optische Täuschung (Absorption, anomale Dispersion) zustande kommt. Mit diesem Einwand beschäftigen sich die folgenden Abschnitte.

### B. Widerlegung durch die Bilder von Banden (zweiter Typus).

Eine große Anzahl von Banden liefert monochromatische Bilder, welche die genannte Höhlung mit großer Deutlichkeit zeigen (S. 35). Und zwar sind dies Banden, als deren Emissionszentrum meist ein Molekül angesehen wird. Nun können Moleküle gewiß nicht im Kern, wohl aber am Rande des Lichtbogens existieren. Hiernach

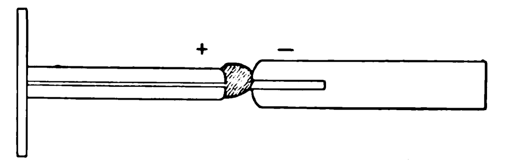
ist es von vornherein wahrscheinlich, daß die Emission dieser Banden in einem mantelförmigen Bereich stattfindet.

Viele dieser Banden sind sehr deutlich in der Gasflamme zu beobachten. Von vornherein ist wahrscheinlich, daß der Zustand in einem Gasbrenner mehr Ähnlichkeit hat mit dem Mantel als mit dem Kern des Lichtbogens, schon deshalb, weil im Kern eine viel höhere Temperatur herrscht. Dies ist wiederum ein Grund für die Annahme, daß diese Banden nur oder überwiegend im Mantel des Bogens emittiert werden.

Wenn nun der Spektroheliograph eine sehr deutliche Höhlung an diesen Bildern zeigt (Abb. 9 der Tafel), wo man eine solche von vornherein erwarten kann, da wird man die Höhlung nicht einer optischen Täuschung zuschreiben. Und wenn man in diesem Fall eine reelle Existenz der Höhlung zugibt, da ist es eine sehr gezwungene Annahme, daß die anderen Höhlungen, die z. B. sehr schön an Na H und Na II beobachtet wurden, lediglich auf Rechnung einer Täuschung zu setzen sind.

### C. Unmittelbare Untersuchung des Lichtbogenkernes durch die Achse einer Kohle.

Das Spektrum des Lichtbogenkernes kann in der üblichen Anordnung schlecht gesondert untersucht werden, weil immer die davor und dahinter liegenden Schichten des Mantels mitwirken. Deshalb hat es Interesse, das Spektrum des Kerns unabhängig vom




Figur 11.

Mantel zu untersuchen. Dies ist möglich, wenn man in die Achse der positiven Kohle einen feinen Kanal bohrt, so fein, daß der positive Krater, der ja immer den negativen an Größe weit übertrifft, die Öffnung reichlich überdeckt. Die Anordnung ist in Figur 11 gezeichnet. Der Bogen steht horizontal. Die positive Kohle ist eine Dochtkohle mit ausgebohrtem Docht; die Kohle muß dünn sein, damit der positive Krater, ohne zu wandern, die ganze Endfläche und damit auch die feine Bohrung überdeckt. Das Ende wird durch eine Quarzplatte abgeschlossen, um Luftströmung längs der Achse zu verhindern. Die negative Kohle ist etwas dicker;

auch ihr Docht ist auf eine kurze Strecke ausgebohrt. Dies etwas weitere Bohrloch steht der positiven Bohrung genau gegenüber. Das hat den Zweck, daß der negative Krater immer an eine Stelle seitlich von der Achse genötigt wird, so daß man durch die positive Bohrung niemals das intensive, kontinuierliche Spektrum der gegenüberstehenden Kohle erblickt, sondern nur das Spektrum des Kernes. Allerdings brennt infolgedessen der Bogen etwas unsymmetrisch, so daß man durch die Bohrung wohl auch auf ein kleines Stückchen Mantel blickt, das dicht beim negativen Krater liegt.

Schwierigkeiten machte die Zuführung der Metallsalze. Die Dochte der Kohlen sind in dieser Anordnung ja nicht mehr verfügbar. Einigermaßen brauchbar ist folgende Anordnung: Ganz dicht unter den Lichtbogen wird ein flaches, hitzebeständiges Gefäß gestellt (Deckel eines Berliner Tiegels) und hier hinein das Metallsalz gelegt. Von unten wird das Gefäß durch einen starken Bunsenbrenner geheizt. Der Dampf des Metallsalzes zieht in den Lichtbogen. Leider bringt er meistens den Bogen zum Zischen. Dies ist nach Frau Ayrton ein Zeichen dafür, daß Luftwirbel in den Krater gelangen, und dadurch wird natürlich der normale Zustand sehr wesentlich gestört.

Leichter ist es, Aluminiumdämpfe in den Bogen zu bringen. In die positive Kohle wird eine Rinne gefeilt und ein Stück Aluminiumdraht hineingelegt. Allerdings setzt sich hierbei der Lichtbogen oft an den Draht selbst an. Dazwischen aber wandert er auch oft an das Kohlenende; und ein solcher Augenblick muß zur Aufnahme des Spektrums benutzt werden.

Am besten geht dieser Versuch aber ohne besonderen Salzzusatz. Denn auch ohne das treten ja in jedem Kohlebogen zahlreiche Linien durch Verunreinigung auf.

Das aus der Bohrung tretende Licht wurde durch eine Quarzlinse auf den Spalt eines Quarzspektrographen von Hilger konzentriert. Zum Vergleich wurde daneben immer das Spektrum des Lichtbogenrandes aufgenommen.

## D. Resultate dieser Methode.

### 1. Lichtbogen zwischen nicht imprägnierten Kohlen.

Auf den ersten Blick ist ein Unterschied zu erkennen zwischen dem Spektrum des Randes und dem durch die Achse beobachteten Spektrum des Kerns (Abb. 10 der Tafel). Im Spektrum des Randes

erblickt man in allen Bereichen Scharen von hellen Linien oder Banden. Im Spektrum des Kerns dagegen fallen durch ihre Helligkeit die Banden von Kohle und Cyan stark auf; daneben finden sich nur sehr wenig Linien von vergleichbarer Intensität, etwa drei oder vier; außerdem sind aber zahlreiche Linien sehr schwach sichtbar. Zunächst werde ich das Verhalten der einzelnen Linien im Rand und Kern vergleichen. Natürlich ist die Intensität von der Belichtungsdauer des einzelnen Spektrums abhängig. Für die folgende Vergleichung durfte deshalb nur eine Aufnahme des Kerns und eine Aufnahme des Randes herangezogen werden.[43])

Natrium.

Die $D$-Linien sind im Rand hell, im Kern kaum sichtbar.

Kupfer.

Die Linien 3247, 3274 sind im Rand hervorragend hell, im Kern dagegen kaum mehr wahrnehmbar.

Calcium.

Hierbei ist ein Vergleich von Ca 4227 und Cy 4216 besonders leicht möglich, da diese Linie dicht neben der Kante liegt. Im Rand ist die Ca-Linie weitaus heller als die Cy-Bande, im Kern gerade umgekehrt. Die Ca-Linien 3969 und 3934 sind im Rand auch heller als im Kern, doch ist der Unterschied lange nicht so auffallend, wie bei den meisten anderen Linien.

Quecksilber.

Die Linie 2536,6 ist im Rand viel heller als im Kern.

Aluminium.

Die Paare 3962, 3944 und 3093, 3082 erscheinen im Kern etwas schwächer als im Rand (über Al folgt näheres weiter unten).

Eisen(?).

Die Linien 2719, 2721, 4004, 4046, 4064, 4072 erscheinen im Kern viel schwächer als im Rand.

Bor.

Das Linienpaar 2498/97 ist im Rand und im Kern sehr hell. Der Rand zeigt diffuse Maxima bei 580, 550, 520, 492, 470, die gewiß mindestens z. T. von Bor herrühren (sicher lassen sie sich wegen ihrer völligen Unschärfe nicht identifizieren); dagegen ist im Rand nichts von den grünen Kohlebanden zu sehen. Umgekehrt zeigt der Kern sehr scharf diese Kohlebanden und nichts mehr von den Borbanden.

Silicium.

$\lambda = 2882$ ist im Rand und im Kern gleichmäßig sehr hell;

etwas dunkler, aber auch im Kern noch gut sichtbar, ist die Gruppe 2507, 2514, 2516, 2519, 2524, 2529.

Kohle und Cyan.

Im Rand erscheinen die hellsten Banden, nämlich 3590, 3884, 4216 und (schwach) 4606; ferner die Linie 2478. Im Kern sind sämtliche Banden von Kohle und Cyan hervorragend stark, weit stärker als im Rand; das gleiche gilt für die Kohlelinie 2478; dies ist die einzige Linie, die im Kern heller ist als im Rand.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Spektralaufnahmen durch die Achse einer Kohle die reelle Existenz der Höhlungen wahrscheinlich machen, die an den monochromatischen Bildern beobachtet sind. Denn gerade die Metallinien, deren Bilder solche Höhlungen zeigen, sind im Kern des Bogens kaum sichtbar. Dagegen die Kohle- und Cyanbanden, deren monochromatische Bilder in der Mitte am hellsten sind, beherrschen das Spektrum des Kernes. In diesem Spektrum sind neben den genannten Banden nur Linien der Nichtmetalle B, Si, C hell sichtbar.

Möglich ist allerdings, daß die Metallinien durch Absorption in der Bohrung der positiven Kohle zum Verschwinden gebracht werden. Deshalb liefert diese Beobachtung keinen zwingenden Beweis, sondern nur einen neuen Stützpunkt für eine Wahrscheinlichkeit.

### 2. Aluminium.

Für Aluminium wurde, wie erwähnt, ein besonderer Versuch mit einem aufgelegten Al-Draht gemacht. Das Spektrum des Randes zeigt sämtliche Al-Linien und daneben sehr kräftig die Banden des Aluminiumoxyds. Der Kern zeigt sämtliche Al-Linien, die bei Hagenbach und Konen[44]) angegeben sind, aber keine Spur von den Banden. Dazu paßt wieder sehr gut, daß die Al-Linien massive monochromatische Bilder des Lichtbogens liefern, die Banden deutlich gehöhlte.

Die Absicht, von der die vorstehende Untersuchung ihren Ausgang genommen hat, war, aus dem spektroheliographisch untersuchten, optischen Verhalten des Lichtbogens Rückschlüsse zu ziehen auf seinen ionentheoretischen Mechanismus. Indessen soll zunächst die dahingehende Verwertung der Beobachtungen zurückgestellt werden, bis weitere, namentlich die auf den Wechselstrombogen ausgedehnten Versuche einen festeren, experimentellen Untergrund geschaffen haben.

## V. Zusammenfassung.

1. Nach dem Prinzip des Spektroheliographen wurde ein Apparat konstruiert, der monochromatische Bilder des Lichtbogens liefert; ferner kann der Apparat dies für die einzelnen Phasen des Wechselstromlichtbogens gesondert leisten.

2. Benutzt wurde der Apparat zunächst nur zu einer Untersuchung des Gleichstromlichtbogens. Die Untersuchung der Natriumlinien ergab folgendes: Die Hauptserie und die zweite Nebenserie werden überwiegend im Saum des Lichtbogens emittiert, die erste Nebenserie weiter im Innern. Zu den Beziehungen zwischen Hauptserie und zweiter Nebenserie, die bisher auf dem Gebiet der Serienformeln und des Zeemaneffektes bekannt sind, kommt durch diese Beobachtung eine neue hinzu.

Ferner wurden Linien einiger anderer Metalle untersucht. Aluminium und Magnesium, z. T. auch Calcium zeigen andere monochromatische Bilder als die Alkalimetalle.

3. Bei der Untersuchung von Banden wurden zwei Typen von Bildern beobachtet. Beim ersten Typus, der von sämtlichen Kohle- und Cyanbanden geliefert wird, ist der Kern des Lichtbogens gleichmäßig hell; zum Rande nimmt die Helligkeit allmählich ab. Einen gerade entgegengesetzten Typus zeigen sämtliche anderen Banden; bei diesen ist der Rand des Bogens wesentlich heller als die Mitte. Diese beiden Typen zeigen charakteristische Unterschiede gegen sämtliche Bilder, die von Linien geliefert werden. Deshalb ist das monochromatische Bild des Bogens als Kriterium anwendbar, ob eine Emission als Linie oder Bande aufzufassen ist. Ein Beispiel für die Anwendung dieses Kriteriums bildete das Calciumspektrum.

4. Um Einwände zu entkräften, die gegen die scheinbare Höhlung der monochromatischen Bilder erhoben sind, wurde das Spektrum des Lichtbogenkerns durch eine feine Bohrung längs der Achse der positiven Kohle untersucht; so wurde das Spektrum des Mantels ausgeschaltet. Das Resultat ist: Wenn die Belichtungsdauer so gewählt wird, daß die Banden des ersten Typus (Kohle und Cyan) im Kern viel heller erscheinen als im Rand, so erscheinen im Gegensatz hierzu alle Metallinien sowie die Banden des zweiten Typus im Kern weitaus dunkler als im Rand. Diese Beobachtung bestätigt die Annahme, daß die an den monochromatischen Bildern beobachteten Höhlungen tatsächlich existieren.



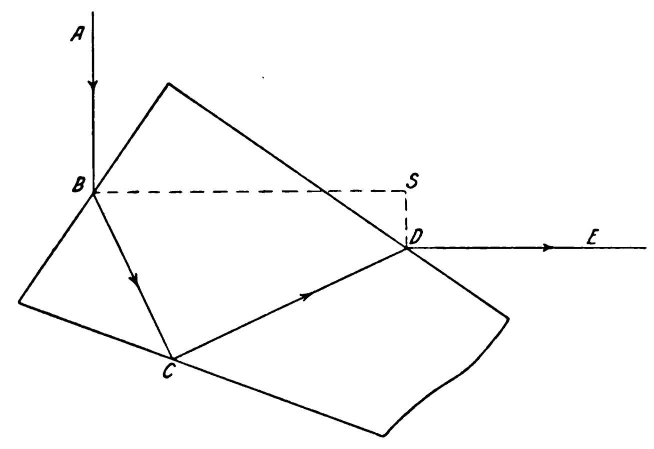
Die vorliegende Arbeit entstand auf Anregung von Herrn Prof. H. Th. Simon; ihm bin ich hierfür sowie für mannigfache, anderweitige Förderung meines Studiums zu größtem Dank verpflichtet.

Zahlreiche, wertvolle Ratschläge verdanke ich dem früheren Assistenten Herrn Dr. Busch. Auch Herrn Mechaniker Müller spreche ich meinen besten Dank aus für die große Sorgfalt, mit der er den oben beschriebenen Apparat in der Werkstatt des Instituts für angewandte Elektrizität in Göttingen hergestellt hat.

---

## Literatur und Anmerkungen.

1) Ann. d. Physik **11.** 636—650. 1903; **17.** 197—247. 1905.
2) Zeitschr. f. wiss. Phot. **5.** 181—183. 1907; **6.** 68—71. 1908.
3) N. Cim. (5) **14.** 218—223. 1907.
4) N. Cim. (5) **13.** 269—285. 1907. — Phys. Zeitschr. **8.** 463—471. 1907.
5) Zahlreiche Abhandlungen vor allem in Astronomy and Astrophysics und dem Astrophysical Journal. Zusammenfassende, populäre Darstellung in dem Buch: The study of stellar evolution. Chicago 1908.
6) Mem. della Soc. degli Spettroscopisti Italiani **33.** 54. 1904; Accad. dei Lincei, Rend. (5), **15.** (1) 168—173. 1906.
7) C. R. **141.** 1010. 1905.
8) Proc. Roy. Soc. **60.** 13. 1897.
9) N. Cim. (5) **19.** 397—410. 1910.
10) Ann. d. Phys. (4) **34.** 231—234. 1911.
11) Im folgenden nenne ich jeden Apparat der hier beschriebenen Art Spektroheliograph, auch wenn er nicht zur Untersuchung der Sonne verwandt wird.
12) Journ. de Phys. (3) **8.** 314. 1899.
13) Phys. Rev. **29.** 37—55. 1909. Zu dieser Arbeit ist folgendes zu bemerken: In Figur 12 ist das Prisma gezeichnet und die Achse $ABCDE$ des Strahlenbündels




Figur 12.

für eine mittlere Farbe des Spektrums. Uhler hat auf die Möglichkeit hingewiesen, daß durch die Drehung des Prismas die Achse $DE$ des austretenden Strahlenbündels seitlich parallel verschoben wird, also nicht mehr mit der Fernrohrachse zusammenfällt. Diese Fehlerquelle kann durch eine geeignete Stellung der Drehungsachse des Prismentisches beseitigt werden. Für deren Berechnung gibt Uhler ein verwickeltes Formelsystem an. Statt dessen kann die Stelle durch folgende Konstruktion gefunden werden: Auf $AB$ und $DE$ werden in $B$ bzw. $D$ die Senkrechten errichtet. Ihr Schnittpunkt $S$ ist eine günstige Stellung für die Drehungsachse. Denn bei einer kleinen Drehung des Prismas um $S$ bewegt sich $B$ annähernd auf der Achse des Kollimatorrohres, $D$ auf der Achse des Fernrohres. An Beispielen lieferte diese Konstruktion fast genau dasselbe Resultat wie die Formeln von Uhler.

14) Astrophys. Journ. **23.** 58. 1906.

15) N. Cim. (5) **19.** 397—410. 1910.

16) Angaben und Zitate stehen in dem Buch: W. Biegon v. Czudnochowski: Das elektrische Bogenlicht. Leipzig 1906, S. 479 und 537.

17) Der Docht der positiven Kohle wurde mit einer Mischung von einem Teil wasserfreiem Natriumsilikat und acht Teilen Kohle gefüllt.

18) Wenn man auch die Kohlen niemals so gründlich von Natrium säubern kann, daß die $D$-Linien verschwinden, so kann man doch die zweite Nebenserie leicht so gut wie vollständig beseitigen.

19) In der Bezeichnung schließe ich mich im folgenden an Lenard, Ann. d. Phys. **11.** 637. Anm. 1903 an.

20) N. Cim. (5) **19.** 408. 1910.

21) Astrophys. Journ. **25.** 86. 1907.

22) Ann. d. Phys. **11.** 647. 1903. — Hagenbach und Konen geben die Wellenlängen dieser Linien genauer an: Phys. Zeitschr. **4.** 592—594. 1902/03.

23) Kayser, Handbuch der Spektroskopie **II.** 556.

24) „ „ „ „ **II.** 564.

25) „ „ „ „ **II.** 557.

26) „ „ „ „ **II.** 670.

27) Ich benutzte in der positiven Kohle einen Docht aus einem Teil Lithiumkarbonat und zehn Teilen Kohle.

28) Ich benutzte in der positiven Kohle meist einen Docht aus einem Teil $CaF_2$ und zehn Teilen Kohle.

29) Ich benutzte im Docht eine Mischung von Aluminiumfeilspänen und Kohle.

30) Kayser, Handbuch **II.** 547.

31) Der Docht bestand aus Magnesiumfeilspänen und Kohle.

32) Ann. d. Phys. (4) **11.** 646. 1903.

33) N. Cim. (5) **19.** 402. 1910.

34) Spektralatlas, S. 57.

35) Abh. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1889, S. 9.

36) Spektralatlas, S. 20.

37) C. R. **146.** 118, 229. 1908.

38) Kayser, Handbuch **II.** 257.

39) Kayser, Handbuch **II.** 537.

40) Spektralatlas, S. 47.

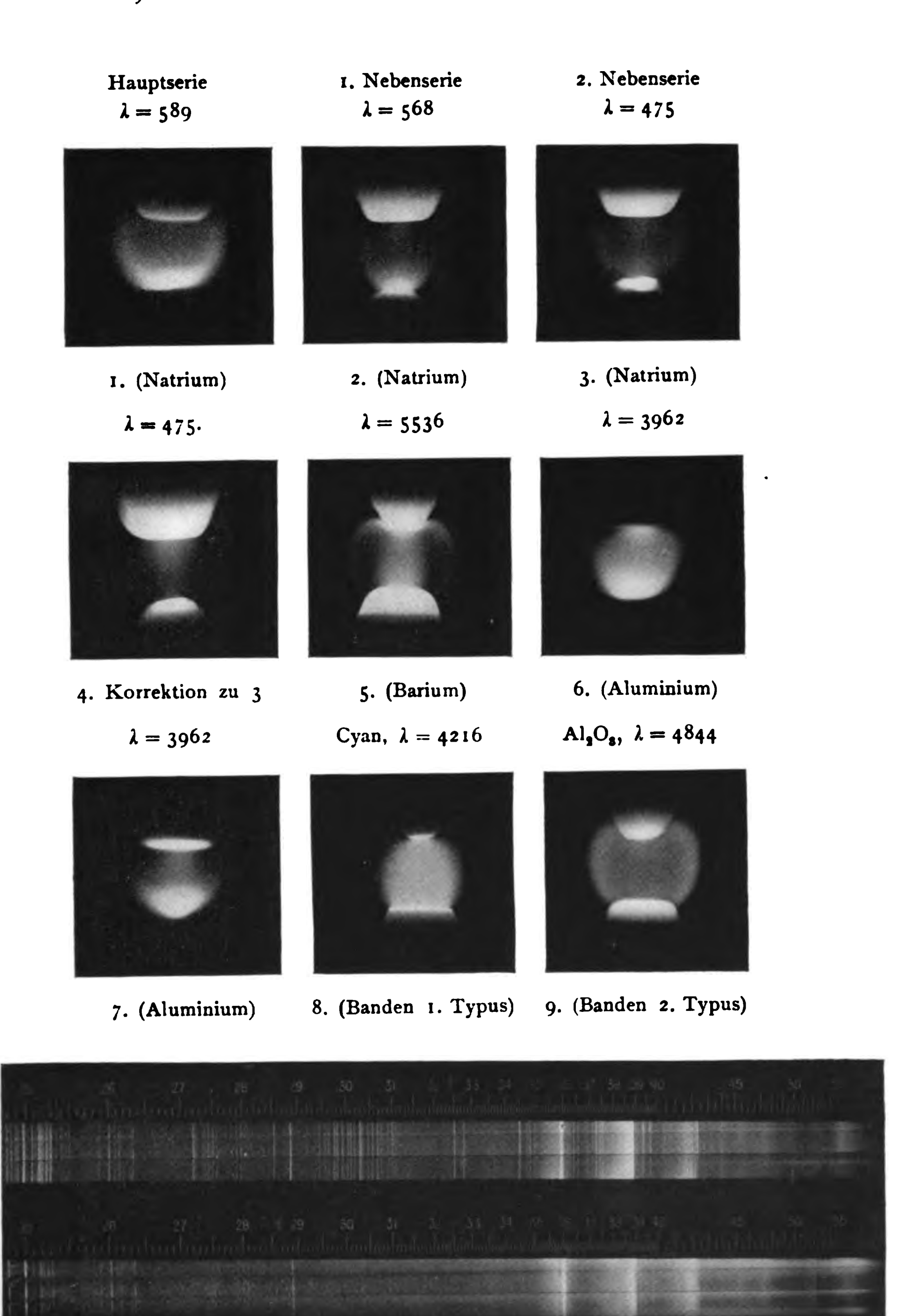
41) Phys. Zeitschr. **VI.** 896. 1905.

42) Zeitschr. f. wiss. Phot. **6.** 69. 1908.

43) Die Wellenlängenskala von Abb. 10 der Tafel gibt bei den langen Wellen zu große Werte an.

44) Spektralatlas, S. 23.

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.



Hauptserie $\lambda = 589$ — 1. Nebenserie $\lambda = 568$ — 2. Nebenserie $\lambda = 475$

1. (Natrium) — 2. (Natrium) — 3. (Natrium)

$\lambda = 475.$ — $\lambda = 5536$ — $\lambda = 3962$

4. Korrektion zu 3 — 5. (Barium) — 6. (Aluminium)

$\lambda = 3962$ — Cyan, $\lambda = 4216$ — $Al_2O_3$, $\lambda = 4844$

7. (Aluminium) — 8. (Banden 1. Typus) — 9. (Banden 2. Typus)

Spektrum des Randes

Spektrum des Kerns

10.

**Otto Oldenberg.**

*Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.*

Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1914. Heft 5.

# Wellenlängennormalen dritter Ordnung aus dem Bogenspektrum des Eisens von λ 4282 bis λ 4903

Von

L. Janicki.

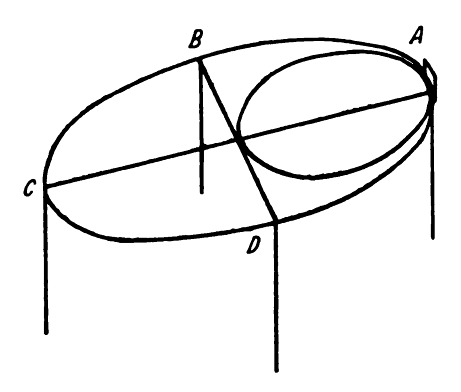
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Mit einer Figur.

§ 1. Die Internationale Vereinigung für Sonnenforschung setzte bei ihrer vierten Tagung[1]) internationale Normalen zweiter Ordnung (I. N.) fest, die dem Eisenbogen entnommen und aus drei verschiedenen unabhängigen Interferenzmessungen gemittelt waren. Im Anschluß an diese Normalen sollten nunmehr mittels Gittermessungen in einem Eisenbogen von 6—10 Amp. Spektrallinien in Abständen von 5—10 A gemessen werden, um als Normalen dritter Ordnung zu dienen. Bisher sind Messungen von H. Kayser[2]) zwischen λ 4118 und λ 6494, von F. Goos[3]) zwischen λ 4282 und λ 6494, von St. John und L. W. Ware[4]) zwischen λ 5371 und λ 5658 sowie zwischen λ 5975 und λ 6494, endlich von K. Burns[5]) zwischen λ 2373 und λ 5434 veröffentlicht worden; diese letzteren wurden mir erst nach Abschluß meiner eigenen Messungen bekannt. Einen systematischen Fehler der genannten Kayserschen Messungen eliminierte Goos[6]); trotzdem blieben noch Unterschiede bestehen, die größer waren, als die zulässigen Fehler. Goos fand sodann, daß manche Wellenlängen sich stark ändern, je nachdem ein kurzer oder langer Bogen benutzt wurde.[7]) Meine Messungen hatten das gleiche Ziel wie die oben genannten Arbeiten; außerdem suchte ich die Ursache der Veränderungen zu ergründen, ob vielleicht ein unsymmetrischer Intensitätsverlauf der Spektrallinien die Veranlassung zu den Verschiebungen bildet.

§ 2. Das große Rowlandsche Konkavgitter der Reichsanstalt hat eine Breite von 14,6 cm, eine Höhe von 4,8 cm und einen Krümmungsradius von 6,4 m; die Strichzahl beträgt nach den Angaben Rowlands 787 pro Millimeter (20000 pro inch). Das Gitter

weist auf der einen Seite eine Verletzung auf, die abgeblendet wurde, so daß die wirksame Gitterbreite 12,6 cm betrug. Seine hervorragenden Eigenschaften werden z. B. bei einer Betrachtung der Quecksilberlinien offenbar. Von der grünen Hg-Linie $\lambda$ 5461 sind in der ersten Ordnung fünf Trabanten zu sehen; der lichtstarke Satellit $-0,120$ A von Hg $\lambda$ 5769 ist in der ersten Ordnung sogar noch deutlich zu beobachten, wenn man das Gitter bis auf 6 cm abblendet; bei dieser Gitteröffnung von 6 cm beträgt das Auflösungsvermögen in der ersten Ordnung ca. 47000. Um den genannten Satelliten $-0,120$ A trennen zu können, ist ein Auflösungsvermögen $\lambda / \delta \lambda = 48000$ nötig; das theoretische Auflösungsvermögen wird also völlig erreicht. Wie jedes Rowlandsche Gitter




zeigt auch dieses Geister, und zwar zwei in gleichen Abständen zu beiden Seiten starker Linien; die Intensität der Geister ist jedoch sehr gering.

Die wertwolle Aufstellung des Gitters ist von der Firma Krupp-Essen für die Reichsanstalt konstruiert und dieser geschenkt worden. Die Anordnung ist nach den Angaben von E. Gehrcke ausgeführt worden; es kann sowohl die Rowlandsche oder Abneysche Methode, wie auch diejenige von Runge und Paschen zur Anwendung kommen. Die schematische Anordnung ist aus der obenstehenden perspektivischen Figur ersichtlich. Die beiden Kreise aus Schmiedeeisen sind durch ein rechtwinkliges Kreuz aus dem gleichen Material verbunden und ruhen in den vier Punkten *A*, *B* *C* und *D*, wo das Kreuz den großen Kreis von 6,4 m Durchmesser trifft, auf 2 m hohen **I**-Trägern; an der Stelle *A*, wo beide Kreise sich berühren, ist die Säule starr mit dem Kreise verbunden, in den übrigen drei Unterstützungspunkten *B*, *C*, *D* befinden sich Kugellager. Eine

fahrbare Beobachtungsleiter und -Bühne[9]) ermöglichen ein bequemes Arbeiten in der Höhe. Der Raum, in dem die Gitteraufstellung sich befindet, besitzt doppelte, mit einer Korkeinlage versehene Wände, Fußboden und Decke; die Temperatur bleibt daher sehr konstant.

Für meine Untersuchungen verwendete ich die Abneysche Methode, um ein normales Spektrum zu erhalten: Gitter und photographische Kassette standen einander gegenüber, während der Spalt[9]) auf dem Außenkreise verschoben wurde, bis der gewünschte Teil des Spektrums in die Kamera[10]) fiel. Von einer Führung für den Spalt war abgesehen; statt dessen war die Kassette verschiebbar und wurde stets neu justiert, wenn ich von einem Spektralbezirk zu einem anderen überging. Der Kassettenhalter ruht auf einer Grundplatte, die durch einen Trieb gegen eine zweite Platte verschoben werden kann; man kann die Kassette dem Gitter beliebig meßbar nähern oder von ihm entfernen. Ferner ist der Halter um eine durch die Mitte der photographischen Platte gehende vertikale Achse drehbar. Die Platten von $9 \times 32$ cm werden in der Kassette zu einem Kreise vom Durchmesser 6,4 m gebogen; es können neun Aufnahmen auf einer Platte übereinander gemacht werden. Der Spalt kann in seiner Ebene um kleine Winkel gedreht werden. Die Parallelstellung von Spalt und Gitterfurchen wurde bequem mit Hilfe der Hg-Linien der Arons-Lummerlampe bewirkt; die nach der Hauptlinie gelegenen Trabanten von $\lambda$ 5461 und 5769 werden sofort unscharf, wenn der Parallelismus nicht genau ist.

§ 3. Der Strom für den Eisenbogen wurde einer Akkumulatorenbatterie von 174 Volt entnommen; die Stromstärke betrug 7 Amp. Als Elektroden benutzte ich runde Stäbe aus Werkstatteisen von 15 mm Durchmesser. Die Enden waren ein wenig konisch zugespitzt oder in einer Länge von 1 cm zu einem Durchmesser von 8 mm abgedreht. Dünnere Stäbe von 5—8 mm erwiesen sich als nicht gut brauchbar, da sie bald glühend und nunmehr die vom Bogen emittierten Spektrallinien sehr lichtschwach wurden. Der Bogen wurde mittels passender Linse vergrößert auf dem Spalt abgebildet. Bei einem kurzen Bogen von 3 mm wurden nur die Elektroden abgeblendet, bei einem langen Bogen von 10—12 mm auch die den Elektroden benachbarten Teile des Lichtbogens, so daß nur der mittlere Teil in einer Länge von 3—4 mm durch den Spalt fiel. Während der Aufnahme wurde darauf geachtet, daß das Gitter stets mit Licht ausgefüllt war.

Das Gitter besitzt auf der einen Seite lichtstärkere Spektren als auf der anderen. Die Schärfe der Linien ist auf beiden Seiten die gleiche. Es wurden alle Aufnahmen auf der lichtstärkeren Seite in der zweiten Ordnung gemacht, wo 0,97 A auf das Millimeter kommen. Die Länge des photographischen Spektrums beträgt 30 cm = 290 A. Als photographische Platten benutzte ich für das Violett und Blau gewöhnliche Schleußnerplatten, für das Blaugrün Schleußnersche Viridinplatten; das Glas der Platten war 0,8 mm dick. Die Expositionszeiten der Spektren betrugen meist 2, 4, 5, 8, 10, 15, 20 Minuten, für die Gegend um λ 4700 auch 30 Minuten. Ein langer Bogen erforderte für eine gleiche Schwärzung wie der kurze Bogen eine längere Belichtung als dieser. Zur Absorption der höheren Ordnungen genügte hei Aufnahmen im Violett die Glaslinse; beim Photographieren des blaugrünen Spektralteiles wurde ein Absorptionsgefäß mit einer Lösung von Kaliumferrocyanid zwischen Spalt und Abbildungslinse eingeschaltet. Der Spalt war bei den Aufnahmen im Violett 0,010 und 0,015 mm, im Blau 0,02 und im Grünblau 0,025 mm breit. Die photographischen Aufnahmen geschahen zwischen folgenden Normalen zweiter Ordnung:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| I. | von | λ 4282 | bis | λ 4547 |
| II. | „ | λ 4466 | „ | λ 4736 |
| III. | „ | λ 4647 | „ | λ 4919 |

Die letzte Zone wurde auch mit einer Stromstärke von 0,45 Amp. aufgenommen.

§ 4. Zur Messung der Platten stand mir dank der großen Liebenswürdigkeit von Herrn Geheimrat Schwarzschild der ausgezeichnete Lohsesche Spektrokomparator[11]) des Potsdamer Astrophysikalischen Observatoriums zur Verfügung. Sehr bequem und zeitsparend ist der automatische Druckapparat der Ablesungen. Die Ganghöhe der Schraube ist 0,5 mm, man kann noch 0,1 $\mu$ schätzen. Die nutzbare Länge der Schraube beträgt 30 cm. Ich konnte also meine Platten von einem Ende bis zum anderen durchmessen und, da auf einer Platte sich 9—11 Normalen befanden, auch eine Ausgleichung der Normalen versuchen. Jede Linie einer Platte wurde sechsmal eingestellt, je dreimal von Violett nach Rot und von Rot nach Violett.

Als Dispersionsformel in erster Annäherung wurde eine dreigliedrige Formel $\lambda = a + bx + cx^2$ benutzt, wo $x$ die Ablesung an der Meßschraube ist und $a$, $b$ und $c$ Konstanten sind; diese wurden

berechnet aus drei Normalen an den Enden und der Mitte jeder Platte. Es war ungefähr $b = -0{,}972$ und $c = 0{,}000001$. Auch bei meinen Messungen fand sich aber, daß die zwischenliegenden Normalen nicht genau durch diese Formel dargestellt wurden. Zur Ausgleichung diente eine Korrektionskurve, welche die Differenzen der internationalen und der gemessenen Normalen als Ordinaten, die Wellenlängen als Abszissen enthielt. Die maximalen Korrektionen waren im Durchschnitt $\pm$ 0,005 A. Zwischen denselben Normalen waren die Korrektionen bisweilen für den gleichen Spektralbetrieb auf der einen Aufnahme positiv auf einer anderen Null, wieder auf einer anderen negativ. Den Grund konnte ich nicht feststellen; es könnte vielleicht sein, daß Zerrungen der Gelatine beim Quellen erfolgen. Burns berichtet Ähnliches.[5]) Einige Platten bei Burns gaben auf 50 cm = ca. 500 A Länge ein normales Spektrum, andere wichen, entgegengesetzt als die Theorie angibt, davon ab. Für Strecken bis ca. 150 A war bei der dreigliedrigen Formel keine Korrektion nötig. Ich habe es jedoch vorgezogen, die ganze Platte durch eine Formel zu berechnen und die Korrektionen auf graphischem Wege zu ermitteln. Die Resultate waren in beiden Fällen gleich.

§ 5. In den folgenden Tabellen bedeutet:

u = unscharf
U = sehr unscharf
ur = unscharf nach Rot
r = Umkehrung mit schmaler Absorptionslinie
R = Umkehrung mit breiter Absorptionslinie.

Die Intensitäten werden geschätzt; 10 bedeutet die stärkste, 0 die schwächste Linie.

Bei den Zahlenangaben und Differenzen der Messungen verschiedener Beobachter sind nur die Stellen rechts vom Komma angegeben. Die wahrscheinlichen Fehler sind ausgedrückt durch:

A = wahrscheinlicher Fehler zwischen 0,0000 und 0,0005 A
B = „ „ „ 0,0005 „ 0,001 A
C = „ „ „ 0,001 „ 0,002 A
D = „ „ größer als 0,002 A.

Der wahrscheinliche Fehler gibt natürlich nur die Genauigkeit der eigenen Messungen an, aber keinen Aufschluß über die absolute Genauigkeit der Werte selbst, wie ein Blick auf die Messungen ver-

schiedener Beobachter zeigt: Die Differenzen sind viel größer als die angegebenen Fehler.

Ehe ich an die Bestimmung der Normalen dritter Ordnung ging, habe ich die Linien des „reinen“ elektrolytischen Eisens von Fischer im Vakuumbogen zwischen λ 5615 und λ 3800 untersucht. In einem Vakuumbogen sind die Intensitätsverhältnisse z. T. andere als in einem offenen Bogen, es treten auch neue Linien auf. Soweit ich die Wellenlängen identifizieren konnte, hatte nur λ 4476 einen Trabanten kleinerer Wellenlänge — 0.057 A; die Intensität war ungefähr $^1/_3$ der Hauptlinie.

Für genaue Messungen ist ein langer Bogen, bei dem der an die Elektroden grenzende Teil abgeblendet ist, viel günstiger als ein kurzer Bogen. Im langen Bogen besitzen die Linien eine viel größere Schärfe; scharfe Linien des langen Bogens werden vielfach im kurzen Bogen sehr unscharf. Linien, die im kurzen Bogen umgekehrt waren, zeigten im langen Bogen keine Umkehr. Die Ursachen der Verbreiterung und Unschärfe können im allgemeinen sowohl im Spektroskop als auch in der Lichtquelle liegen. Hier konnte aber eine Verbreiterung, die im benutzten Gitter ihre Veranlassung hatte, nicht gefunden werden. In jedem photographierten Spektralbereich traten starke und scharfe Linien hervor, an denen keine Veränderung oder Verschiebung mit der Expositionszeit zu beobachten war. Die Ursachen der Verbreiterung sind also nur in der Lichtquelle selbst zu suchen; als solche kommen in Betracht: Druck, Dampfdichte, Temperatur. Daß in einem, in offener Atmosphäre brennenden Bogen Druckunterschiede von mehreren cm Hg[12]) auftreten sollten, ist schwer einzusehen. Die Unterschiede zwischen einem langen und einem kurzen Bogen sind also wohl mehr in der Veränderung der Temperatur und Dampfdichte zu suchen. Die Dampfdichte ist vermutlich an der heißeren Kathode größer als an der Anode und in der Mitte des Bogens; dementsprechend sind im kurzen Bogen, wo der Einfluß der Kathode sich über den ganzen Lichtbogen erstreckt, die Linien weit unschärfer als im langen Bogen. Setzt man die Stromstärke herab, so werden viele Linien auch im kurzen Bogen ziemlich scharf. Auch andere Ursachen dürften nach den Beobachtungen von Burns mitwirken. Burns[5]) beobachtete im Ultraviolett Linien, die aus zwei, nur 0,02 A entfernten Komponenten bestanden; ihre Intensitätsverhältnisse waren an den beiden Polen umgekehrt, so daß diese Linien bei einer geringeren als der von Burns verwendeten Dispersion Verschiebungen vortäuschen können.

Umgekehrte Linien lassen sich, besonders wenn die Absorptionslinie fein und scharf ist, sehr genau einstellen. Ob aber der Schwerpunkt der Linie gemessen ist, wenn man auf die Mitte der Absorptionsstelle einstellt, ist ungewiß, da vielfach unsymmetrische Umkehrungen beobachtet worden sind. Es müssen sich bei solchen Linien verschiedene Werte ergeben, je nachdem man die umgekehrte oder nicht umgekehrte Linie mißt. In Tabelle 1 sind Messungen der drei starken Linien λ 4383,

Tabelle 1.

| | Kurzer Bogen (4 mm) | | | Langer Bogen | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Platte: Expos. i. Min. Spaltbreite in mm | 34 5 0.015 | 36a 15 0.010 | 36b 15 0.015 | 37a 8 0.015 | 37b 12 0.015 | 35a 5 0.015 | 38b 8 0.015 | 38c 20 0.015 | Burns | Goos | Kayser v. Goos korr. |
| λ | | | | sehr kurz entwickelt | | lange entwickelt | | | | | |
| 4383. | .543r | .542r | .541r | 543 | 540 | 551 | 556 | 555 | 548R | 551R | 558R |
| 4404. | .752r | .755r | .755r | 747 | 747 | 748 | 758 | 764 | 752r | 755R | 758R |
| 15. | .130r | 124 | 125 | 122 | 121 | 122 | 122 | 121 | 127r | 129 | 130 |
| 42. | 344 | 346 | 343 | 345 | 344 | 345 | 346 | 345 | 349 | 349 | 348 |

4404 und 4415 bei verschiedenen Belichtungszeiten zusammengestellt. Um die Genauigkeit der Einzelmessungen zu zeigen, habe ich die schwächere Linie λ 4442 auch in die Tabelle aufgenommen. Zwei weitere Reihen von Messungen dieser Linien zeigen denselben Änderungsverlauf mit der Expositionsdauer. Daß der Wert für λ 4383 und 4404 tatsächlich wächst und der Unterschied nicht auf einer schnellen Temperaturänderung oder einer Erschütterung des Gitters beruht, beweist die Linie λ 4415, die ebenso stark wie λ 4404 ist. Die Unterschiede zwischen den Messungen von Burns, Goos und Kayser sind eine weitere Bestätigung für diese Ansicht, wenn man erwägt, daß eine Einstellung auf eine umgekehrte Linie sehr sicher erfolgt.

Bemerkenswerte Unterschiede zwischen den langen und kurzen Bogen ergaben sich auch an den Normalen zweiter Ordnung, bzw. den von Fabry und Buisson und von Eversheim durch Interferenzmessung gefundenen Wellenlängen λ 4707, λ 4736, bzw. λ 4678, λ 4754, λ 4823; diese letzteren drei Werte habe ich in der Tabelle 2 in der Reihe, die die Werte der Normalen enthält, in Klammern gesetzt. Im langen Bogen sind diese Linien ziemlich scharf. Im kurzen Bogen sind sie sehr unscharf; sie besitzen ein sehr flaches Intensitätsmaximum, das besonders bei λ 4707 und λ 4736 nach Rot langsamer als nach Violett abfällt. Infolgedessen sind die

Tabelle 2.

| | Langer Bogen | | | | Kurzer Bogen | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Platte: Exp in Min. | 44f 15 | 44e 20 | 44d 30 | Intensität | 44b 4 | 43d 10 | 43b 20 | Intensität | I. N. | Burns | Goos | Kayser |
| λ | | | | | | | | | | | | |
| 4647, | 439 | 439 | 439 | 4 | 439 | 439 | 439 | 5 | 439 | 440 | 439 | 444 |
| 54, | 507 | 504 | 506 | 3 | 505 | 505 | 505 | 3 | | 502 | 514 | 503 |
| 54, | 635 | 631 | 634 | 3u | 641 | 644 | 650 | 3u | | 637 | 645 | 647 |
| 67, | 461 | 461 | 461 | 3u | 458 | 458 | 461 | 4u | | 460 | 457 | 462 |
| 68, | 150 | 157 | 152 | 3u | 153 | 160 | 166 | 4u | | 153 | 157 | 153 |
| 78, | 857 | 857 | 857 | 3u | 855 | 864 | 864 | 4u | (855) | 856 | 856 | 857 |
| 91, | 417 | 416 | 417 | 3 | 417 | 417 | 417 | 4 | 417 | 416 | 414 | 416 |
| 4707, | 288 | 290 | 291 | 4 | 298 | 307 | 309 | 5u | 288 | 287 | 289 | 287 |
| 10, | 286 | 290 | 288 | 2 | 289 | 289 | 287 | 4 | | 283 | 281 | 278 |
| 28, | | 560 | 558 | 1u | | 559 | 558 | 1u | | 549 | | |
| 33, | 595 | 598 | 598 | 2 | 598 | 599 | 597 | 3 | | 594 | 587 | 588 |
| 36, | 786 | 787 | 787 | 5 | 799 | 806 | 805 | 6u | 786 | 788 | 789 | 783 |
| 41, | | 534 | 537 | 1 | | 540 | 535 | 2 | | 533 | 529 | 526 |
| 54, | 046 | 047 | 048 | 3u | 051 | 057 | 054 | 4u | (046) | 047 | 046 | 046 |
| 62, | 372 | 374 | 374 | 3 | 367 | 374 | 374 | 4 | | 373 | 372 | 368 |
| 65, | | 862 | 865 | 1 | | 860 | 864 | 1 | | 863 | 861 | |
| 66, | | 423 | 424 | 2 | | 422 | 424 | 2 | | 422 | 420 | 420 |
| 83, | 431 | 433 | 433 | 3u | 437 | 441 | 444 | 4u | | 434 | 437 | 435 |
| 86, | 811 | 814 | 812 | 2 | 810 | 812 | 813 | 3 | | 810 | 810 | 810 |
| 89. | 657 | 656 | 657 | 3 | 657 | 656 | 656 | 4 | 657 | 655 | 654 | 650 |
| 23, | 525 | 524 | 525 | 4u | 525 | 527 | 529 | 4u | (522) | 524 | 526 | 523 |

Messungen mit diesen Normalen oder Hilfsnormalen als weniger genau anzusehen. Die Normale λ 4691, die etwas schwächer als λ 4707 und λ 4736 ist, bleibt auch im kurzen Bogen scharf. Daß unsymmetrische Temperaturänderungen des Gitters einen Einfluß gehabt hätten, ist auch hier nicht anzunehmen, da die gleichzeitig auf derselben Platte gemessenen starken Linien λ 4871, λ 4872, λ 4890, λ 4891 eine solche Verschiebung nicht zeigen. Im langen Bogen von 7 Amp. ist die Verschiebung der obigen Normalen unbedeutend, etwas stärker in einem kurzen Bogen von 4,5 Amp. Eine weitere Reihe von Messungen mit kurzem Bogen von 7 Amp. ergab dasselbe Bild wie in der Tabelle 2. Auch in den Messungen von Goos ist diese Verschiebung zu konstatieren. Goos legt seine Korrektionskurven offenbar zwischen die sehr scharfe Normale λ 4691 und die übrigen Normalen. Daher fällt bei Goos λ 4691 kleiner und λ 4707 und λ 4736 größer aus, als die Werte der I.N. sind. Es dürfte sich empfehlen, an Stelle der Normalen λ 4707 und λ 4736 die schwächeren, aber stets scharfen Linien λ 4710 und λ 4733 neu zu bestimmen, da diese keinen Unterschied zwischen langem und kurzem Bogen ergeben. Wie aus der Tabelle 2 er-

sichtlich ist, zeigen mehrere andere Linien des Gebietes um λ 4700 ein ähnliches Verhalten wie die beiden Normalen λ 4707 und λ 4736. Ferner ersieht man, daß die Linien, deren Wellenlängen im kurzen und langen Bogen differieren, einen unsymmetrischen Intensitätsverlauf besitzen.

In Tabelle 3 habe ich die Linien zusammengestellt, die ich für Normalen dritter Ordnung als ungeeignet halte. Es sind dies außer den Linien, die Differenzen zwischen umgekehrter und nicht um-

Tabelle 3.

| λ | Intensität | Wahrscheinl. Fehler | λ-Burns | λ-Goos | λ-Kayser | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4383,542 | 10 r | | − 0,006 | − 0,009 | − 0,016 | |
| 88,419 | 1 u | B | − 3 | − 1 | | |
| 4404,747 | 8 r | | − 5 | − 8 | − 11 | |
| 15,122 | 8 r | | − 5 | − 7 | − 8 | |
| 33,222 | 1 u | B | 0 | + 7 | | |
| 69,387 | 2 u | B | − 3 | − 9 | 0 | |
| 76,026 | 4 Ur | B | + 3 | + 2 | | |
| 82,176 | 3 | A | 0 | + 3 | + 8 | |
| 82,264 | 4 | A | + 2 | − 6 | − 7 | |
| 90,090 | 2 | B | + 2 | + 5 | − 3 | Fe, Mn; Kilby: ,071 |
| 98,904 | 0 | A | + 1 | | | Mn; Kilby: ,898 |
| 4502,224 | 0 | B | + 5 | | | Mn; Kilby: ,218 |
| 25,152 | 3 u | A | − 2 | − 3 | 0 | |
| 56,132 | 3 u | B | + 4 | + 7 | + 6 | |
| 81,525 | 1 u | C | − 4 | − 16 | − 5 | |
| 98,135 | 1 u | C | − 3 | − 9 | − 7 | |
| 4607,665 | 2 u | B | 0 | | | |
| 11,295 | 3 u | B | + 5 | − 3 | − 7 | |
| 19,302 | 3 u | B | + 7 | + 2 | − 1 | |
| 25,062 | 3 u | B | + 1 | − 11 | − 12 | |
| 43,469 | 1 u | B | + 2 | | | |
| 54.505 | 3 | A | + 3 | − 9 | + 2 | |
| 54,633 | 3 u | B | − 4 | − 12 | − 14 | |
| 68,153 | 3 u | C | 0 | − 4 | 0 | |
| 69,183 | 2 u | A | − 1 | | | |
| 73,170 | 1 u | B | − 1 | − 8 | − 1 | |
| 83,565 | 0 | C | − 1 | − 10 | − 17 | Im kurzen Bogen sehr unscharf |
| 4707,290 | 4 | C | + 3 | + 1 | + 3 | |
| 07,490 | 1 | C | + 5 | | | |
| 21,002 | 0 | C | + 2 | + 2 | + 6 | |
| 27,408 | 1 u | C | − 2 | | | Mn; Kilby: ,476 (Kayser: ,425; Goos: ,434) |
| 27,478 | 1 u | C | − 14 | | | |
| 28,558 | 1 u | A | + 9 | | | Im kurzen Bogen sehr unscharf |
| 36,788 | 4 | B | 0 | − 1 | + 5 | |
| 45,808 | 0 u | B | + 4 | + 16 | + 10 | |
| 83,432 | 3 u | B | − 2 | − 5 | − 3 | Mn; Kilby: ,454 |
| 4800,656 | 1 u | B | + 4 | − 8 | + 3 | |
| 82,161 | 1 u | B | − 7 | − 1 | − 5 | |

gekehrter Linie zeigen, unscharfe Linien und enge Paare. Die Tausendstel einer A-Einheit sind bei unscharfen Linien unsicher, da die Beurteilung des Intensitätsmaximums stark von der individuellen Auffassung abhängt, wie die Differenzen unter den verschiedenen Beobachtern dartun. Goos hat bewiesen, daß man auch bei einer geringen Dispersion von 2—3 A pro mm sehr genaue Messungen erhalten kann, aber enge nur wenig getrennte Dublets sind schwer mit genügender Genauigkeit zu messen; man sieht dies an den Differenzen der Doppellinien λ 4482 und λ 4654 zwischen Goos einerseits und Burns und mir andererseits. Die Linie λ 4490, bei der die Differenz Goos-Kayser = — 0,008 A beträgt, ist eine sehr enge Doppellinie, die nicht aufgelöst ist; die eine Komponente gehört dem Mangan an. Auch die Linie λ 4727, bei der die Differenz Goos-Kayser — 0,009 A beträgt, ist eine solche Doppellinie. Mein Gitter trennte in der zweiten Ordnung beide unscharfen Komponenten, deren Abstand 0,07 A beträgt, deutlich; die eine Komponente ist eine Mn-Linie. Die Linie λ 4476 finde ich ebenso wie Goos abschattiert nach Rot und von der Intensität 4, während Burns die Intensität 7 und keine Unschärfe angibt. Das Elektrolyteisen gab im Vakuumbogen einen Trabanten kleinerer Wellenlänge, von dem ich im Gitterspektrum bei einem Bogen aus gewöhnlichem Eisen nichts fand. Vielleicht gehört dieser „Trabant" einem anderen Metall an und war auch in dem von Burns verwendeten Eisen vorhanden; diese Annahme würde auch die Intensitätsangabe bei Burns erklären.

Die Tabelle 4 enthält meine Messungen von solchen Linien, die mir als Normalen 3. Ordnung geeignet erscheinen. Ich habe auch drei unscharfe Linien in diese Tabelle aufgenommen, weil eine allzugroße Lücke entstehen würde, wenn diese Linien fehlen würden. Daß ein systematischer Gang gegen Burns, Goos und Kayser in der Region λ 4700 auftritt, ist nach den obigen Darlegungen über die Veränderlichkeit der Normalen λ 4707 und λ 4736 natürlich. In Tabelle 4 beträgt die Summe der positiven, bzw. negativen Abweichungen gegen Burns: + 0,062, — 0,072 A (89 Linien), gegen Goos: + 0,081, — 0,095 A (68 Linien) und gegen Kayser: + 0,095, — 0,101 (59 Linien). Die durchschnittliche Abweichung beträgt also gegen Burns $\pm$ $0.001_5$ A, gegen Goos $\pm$ $0,002_0$ A und gegen Kayser $\pm$ $0,003_3$ A.

Die in der letzten Spalte der Tabelle 4 mitgeteilten Fe-Zahlen von Papenfus[14]) sind an einem Konkavgitter im Anschluß an die

Tabelle 4.

| λ | Intensität | Zahl der Platten | Wahrscheinl. Fehler | Gruppe nach Gale u. Adams[13]) | I. N. | λ-Burns | λ-Goos | λ-Kayser | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4282,408 | 5 | | | b | 408 | +002 | 000 | 000 | |
| 85,450 | 1 | 3 | A | | | + 2 | | | |
| 89,722 | 1 | 3 | A | | | − 2 | | | Cr |
| 91,468 | 1 | 2 | B | a | | − 4 | | | |
| 94,131 | 6 | 8 | A | b | | − 1 | + 1 | + 4 | Papenfus: ,129 |
| 98,043 | 1 | 3 | A | | | 0 | | | |
| 99,247 | 6 | 8 | A | d | | − 7 | 0 | + 1 | „ ,246 |
| 4305,456 | 1 | 3 | B | | | − 2 | | | |
| 07,908 | 8 r | 8 | B | b | | − 2 | − 4 | | |
| 09,040 | 0 | 2 | C | | | − 1 | | | |
| 09,380 | 1 | 2 | A | | | − 2 | | | „ ,379 |
| 15,090 | 5 | | | b | 089 | − 2 | + 1 | 0 | |
| 25,768 | 8 r | 8 | B | b | | − 2 | + 4 | + 5 | „ ,771 |
| 26,761 | 0 | 2 | B | | | − 1 | | | |
| 27,099 | 1 | 3 | C | | | − 1 | | | „ ,089 |
| 37,052 | 4 | 7 | A | b | | 0 | 0 | − 2 | „ ,053 |
| 46,562 | 1 | 2 | B | | | + 1 | | | |
| 51,554 | 1 | 2 | B | | | + 1 | | | |
| 51,770 | 1 | 2 | B | | | + 1 | | | |
| 52,741 | 4 | | | b | 541 | + 1 | 0 | − 2 | |
| 58,511 | 1 | 3 | B | | | + 5 | + 1 | + 7 | |
| 67,584 | 2 | 5 | B | | | 0 | 0 | | |
| 67,911 | 1 | 4 | B | | | + 1 | + 6 | | |
| 69,777 | 3 | 7 | A | b | | 0 | − 1 | + 5 | „ ,782 |
| 75,934 | 4 | | | a | 934 | 0 | 0 | − 2 | |
| 82,776 | 1 | 3 | C | | | − 1 | | | |
| 87,900 | 1 | 3 | B | | | + 1 | | | |
| 90,954 | 2 | 4 | B | | | − 3 | − 2 | − 2 | |
| 4407,716 | 2 | 5 | B | c | | 0 | 0 | | |
| 08,420 | 3 | 6 | B | c | | 0 | 0 | | |
| 22,573 | 3 | 7 | A | b | | + 3 | − 1 | + 6 | |
| 27,314 | 4 | | | a | 314 | + 1 | 0 | − 5 | |
| 30,622 | 3 | 7 | A | c | | 0 | − 1 | − 1 | |
| 42,345 | 4 | 11 | A | c | | − 4 | − 4 | − 3 | |
| 43,199 | 3 | 7 | A | b | | 0 | + 2 | | |
| 47,723 | 4 | 7 | A | c | | − 4 | − 2 | − 5 | |
| 51,590 | 0 | 2 | A | | | − 2 | | | Mn;Kilby: ,584 |
| 54,387 | 2 | 4 | B | b | | 0 | + 3 | 0 | |
| 59,124 | 4 | 7 | A | c | | − 4 | − 3 | − 1 | |
| 61,658 | 3 | 7 | A | a | | 0 | − 2 | + 1 | |
| 66,556 | 4 | | | b | 556 | − 1 | + 1 | − 2 | |
| 84,236 | 3 | 8 | B | | | − 2 | − 5 | | |
| 89,746 | 3 | 8 | B | a | | + 2 | − 1 | − 3 | |
| 94,572 | 4 | | | c | 572 | + 1 | − 1 | − 3 | |
| 4514,196 | 1 | 4 | B | | | + 6 | 0 | + 2 | |
| 17,533 | 1 | 6 | A | | | + 3 | − 10 | − 8 | |
| 28,623 | 6 | 8 | A | c | | − 1 | − 1 | 0 | Interferenzmessung von Eversheim: ,622 |
| 31,154 | 3 | | | b | 155 | − 1 | 0 | − 4 | |
| 42,421 | 1 | 2 | A | | | − 1 | | | |
| 47,855 | 3 | | | | 853 | 0 | + 1 | − 2 | |
| 52,550 | 1 | 4 | A | | | − 1 | − 2 | | |
| 66,526 | 0 | 2 | B | | | + 1 | | | |
| 74,730 | 1 | 3 | B | | | 0 | − 2 | − 1 | |
| 87,136 | 1 | 3 | A | | | 0 | − 2 | − 3 | |

**Tabelle 4 (Fortsetzung).**

| λ | Intensität | Zahl der Platten | Wahrscheinl. Fehler | Gruppe nach Gale u. Adams[13] | I. N. | λ-Burns | λ-Goos | λ-Kayser | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4592,657 | 3 | | | | 658 | −001 | −003 | −004 | |
| 95,367 | 1 | 2 | A | | | − 1 | | | |
| 4602,010 | 1 | 5 | | | | + 1 | − 7 | 0 | |
| 02,947 | 4 | | A | | 947 | + 1 | + 2 | − 4 | |
| 13,223 | 2 | 5 | B | | | + 6 | − 13 | − 9 | |
| 30,129 | 1 | 7 | B | | | + 1 | | | |
| 32,919 | 2 | 7 | B | | | 0 | + 4 | − 6 | |
| 35,853 | 0 | 2 | B | | | 0 | | | |
| 37,520 | 2 | 7 | B | | | − 2 | − 8 | − 5 | |
| 38,020 | 2 | 5 | A | | | 0 | − 6 | − 7 | |
| 47,439 | 4 | | | | 439 | − 1 | 0 | − 5 | |
| 67,460 | 4u | 8 | A | | | 0 | + 3 | − 2 | Interferenzmessung: ,855 |
| 78,857 | 4u | 10 | C | | | + 1 | + 1 | 0 | |
| 91,417 | 3 | | | | 417 | + 1 | + 3 | + 1 | |
| 4710,288 | 3 | 10 | B | | | + 5 | + 7 | + 10 | |
| 33,598 | 3 | 10 | A | | | + 4 | + 11 | + 10 | |
| 41,536 | 1 | 6 | B | | | + 3 | + 7 | + 10 | |
| 54,047 | u | 6 | A | | | 0 | + 1 | + 1 | Mn; Interferenzmessung: ,046 |
| 62,373 | 3 | 10 | A | | | 0 | + 1 | + 5 | Mn; Kilby: ,375 |
| 65,863 | 1 | 6 | B | | | 0 | + 2 | | ,852 |
| 66,423 | 2 | 6 | A | | | + 1 | + 3 | + 3 | ,414 |
| 72,816 | 1 | | B | | | − 2 | + 4 | + 2 | |
| 86,812 | 2 | 8 | A | | | + 2 | + 2 | + 2 | |
| 88,762 | 1 | 4 | B | | | + 1 | | | |
| 89,656 | 3 | | | | 657 | + 1 | + 2 | + 6 | |
| 4802,886 | 1 | 4 | B | | | − 1 | + 1 | 0 | |
| 23,525 | 4u | 10 | A | | | + 1 | − 1 | + 2 | Mn; Kilby: ,521 |
| 39,544 | 1 | 4 | A | | | − 2 | − 2 | − 2 | |
| 59,757 | 5 | | | c | 758 | 0 | + 1 | + 4 | |
| 71,333 | 8 | 9 | B | c | | 0 | + 4 | + 2 | |
| 72,151 | 6 | 9 | A | c | | − 3 | − 4 | − 2 | |
| 78,224 | 5 | | | c | 225 | − 2 | − 2 | − 3 | |
| 90,770 | 7 | 9 | A | c | | 0 | + 1 | + 1 | |
| 91,505 | 9 | 9 | B | c | | − 5 | − 5 | − 3 | |
| 4903,326 | | | | | 325 | + 1 | + 1 | + 5 | |

Normalenbestimmungen von Fabry und Buisson[15]) gemacht; sie stimmen bis auf einen Wert sehr gut mit den übrigen Zahlen überein. Die Übereinstimmung mit den von Kilby[16]) gemessenen Wellenlängen der Manganlinien, die auch im Anschluß an Fabry und Buisson geschahen, ist nicht besonders gut. Die Linien des Mn-Bogens sind sehr unscharf. Bekanntlich sind die Linien von geringen Verunreinigungen stets sehr scharf. Diese Eigentümlichkeit ist vielfach benutzt worden, wenn es sich darum handelte, bestimmte

Linien scharf zu erhalten. Daher dürfte wohl auch die Messung der im Eisenbogen als Verunreinigung auftretenden Mn-Linien genauer sein, als diejenige im Mn-Bogen. Burns[17]) ist der entgegengesetzten Ansicht.

## Anmerkungen.


1) Astrophys. Journ. **32.** 215—216, 259—260. 1910; **33.** 85. 1911.
2) Astrophys. Journ. **32.** 217—225. 1910.
3) Diese Zeitschr. **11.** 1—12, 305—316. 1912.
4) Astrophys. Journ. **36.** 14—53. 1912.
5) Diese Zeitschr. **12.** 207—235. 1913.
6) Diese Zeitschr. **10.** 200—208. 1911.
7) Diese Zeitschr. **11.** 305—316. 1912.
8) Geliefert von Joester-Potsdam.
9) Geliefert von Schmidt & Haensch-Berlin.
10) Geliefert von Franz Reschke-Berlin.
11) Von O. Töpfer & Sohn. Zeitschr. f. Instrumentenkunde **30.** 169—173. 1910.
12) Goos, Diese Zeitschr. **12.** 259—275. 1913.
13) Astrophys. Journ. **35.** 10—47. 1912.
14) Diese Zeitschr. **9.** 332—346, 349—360. 1911.
15) Comptes Rendus. **144.** 1155—1157. 1907.
16) Astrophys. Journ. **30.** 243—266. 1909.
17) Comptes Rendus. **156.** 1976—1978. 1913.

# Über den Einfluß der Temperatur und der Okklusion von Gasen auf das lichtelektrische Verhalten von Metallen, Metalloxyden und Metallsulfiden.

Von

Adolf Hallermann.

Mit 5 Figuren.

## I. Einleitung.

In seiner Arbeit vom Jahre 1902 über lichtelektrische Wirkung zeigte Lenard[1],) daß die Geschwindigkeit der durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht zum Entweichen gebrachten Elektronen nicht von der Intensität, sondern nur von der Qualität des erregenden Lichts abhängt. Hieraus folgt, daß die Elektronen die in ihrer Austrittsgeschwindigkeit liegende Energie nicht dem Lichte entnehmen, sondern dies spielt hierbei nur eine auslösende Rolle. Die Energie ist schon vor der Bestrahlung in den Elektronen vorhanden. Dieses überraschende Resultat legte die Frage nahe, ob eine Steigerung der Energie der Elektronen etwa durch Temperaturerhöhung nicht den lichtelektrischen Effekt vergrößern würde. Von diesem Gesichtspunkte aus haben Lienhop, Millikan und Erich Ladenburg sehr sorgsame Messungen über den lichtelektrischen Effekt ausgeführt. Die Messungen sind im äußersten Vakuum angestellt worden. Die Kathodenbleche wurden stundenlang in der Flamme und durch Strom im Vakuum geglüht, um die okkludierten Gase herauszutreiben. Vielfach wurde mit Kokosnußkohle und flüssiger Luft gearbeitet, um durch Absorption fast alle Spuren von Luft aus der Untersuchungsröhre zu entfernen. In neueren Arbeiten war man auch bestrebt, den Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit des Kathodenbleches auf den lichtelektrischen Effekt durch ständiges Bestrahlen mit ultraviolettem Licht und durch Abschaben des Bleches im Vakuum zu klären.

Um die Abhängigkeit des lichtelektrischen Effekts von der Temperatur zu ermitteln, nahm Lienhop[2]) Geschwindigkeitsverteilungskurven an Platin- und Kohleelektroden auf. Es wurde zu jedem verzögernden bzw. beschleunigenden Potential die Menge der ausgeschleuderten Elektronen bei Zimmertemperatur, bei $100^0$

absolut (flüssige Luft) und bei 200° absolut (flüssige Kohlensäure) ermittelt. Der bei Temperaturabhängigkeit zu erwartende große Unterschied der Kurven konnte nicht festgestellt werden. Eine Abkühlung der Elektrode und ihrer Umgebung bis zur Temperatur der flüssigen Luft änderte weder die Menge noch die Geschwindigkeitsverteilung der ausgelösten Elektronen. Die Untersuchungen von Millikan[3]) wurden an elf verschiedenen Metallen in einer Vakuumröhre vorgenommen. Die Temperatur der Untersuchungsröhre wurde kontinuierlich bis zu 125° gesteigert. Millikan fand alle beobachteten Photoeffekte innerhalb der Temperaturen von 18° und 125° vollkommen konstant und unabhängig von der Temperatur. Zu dem gleichen Ergebnis kam Erich Ladenburg,[4]) der die Temperatur bis etwa 850° steigerte. Auch hatte die Temperatur keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Elektronen. Aus diesen Arbeiten geht somit hervor, daß der lichtelektrische Effekt vollkommen unabhängig von der Temperatur der Elektrode ist.

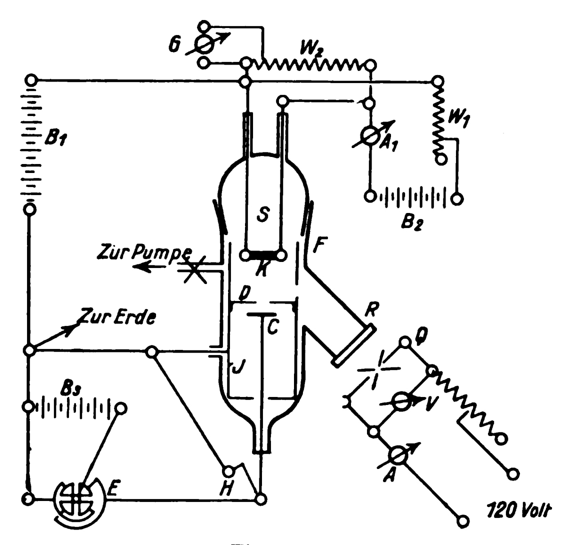
Alle Forscher, welche auf diesem Gebiet gearbeitet haben, haben sich auf die Untersuchung von Metallen, also von Elementen, beschränkt. Es fragt sich, ob Verbindungen sich ähnlich verhalten. Wir wissen, daß eine Reihe von Oxyden bei höheren Temperaturen Elektronen aussenden (Wehnelteffekt), und ferner findet bei chemischen Umsetzungen ebenfalls ein Austreten von Elektronen statt. (Habereffekt). Der Gedanke liegt nahe, daß ebenso wie durch hohe Temperatur das Molekül so erschüttert wird, daß es Elektronen aussendet, dies in erhöhtem Maße stattfinden wird, wenn gleichzeitig hohe Temperatur und Licht wirken. Der Entscheidung dieser Frage ist der erste Teil dieser Arbeit gewidmet. Es hat sich dabei ergeben, daß auch bei den Oxyden der lichtelektrische Effekt vollkommen unabhängig von der Temperatur ist. Darauf habe ich die Frage zu entscheiden gesucht, ob bei monotropen Umwandlungen Änderungen des lichtelektrischen Effekts stattfinden. Es war dies nicht der Fall. Dieser Teil meiner Arbeit bildet eine Ergänzung zu den Versuchen von Dember,[5]) welcher fand, daß bei Aggregatzustandsänderungen kein Sprung im lichtelektrischen Effekt stattfindet. Aus diesen im Verein mit meinen Versuchen geht somit hervor, daß der lichtelektrische Effekt nur abhängt von der stofflichen Natur der bestrahlten Fläche (von dem Einfluß der Wellenlänge des Lichtes sehe ich ab).

Bei meinen Versuchen und denen der anderen Forscher zeigten sich große Differenzen unter den an verschiedenen Tagen mit der-

selben bestrahlten Fläche erhaltenen Werten. Der Grund konnten nur Oberflächenschichten oder okkludierte Gase sein. Das Vorhandensein der ersteren ist bei den hohen von mir benutzten Temperaturen aber nicht wahrscheinlich; ich habe mich daher der Untersuchung des Einflusses der okkludierten Gase zugewandt. Diese Frage bildet gerade jetzt ein besonderes Interesse, nachdem Herrmann[6]) nachgewiesen hat, daß selbst im äußersten Vakuum, in dem Ozon und Wasserstoffsuperoxyd, die nach Hallwachs die Ursache der Ermüdung bilden, nicht vorhanden sein können, der lichtelektrische Effekt sehr schnell mit der Zeit abnimmt.

## II. Versuchsanordnung.

Figur 1 stellt die Versuchsanordnung dar. Die Untersuchungsröhre *F* konnte durch eine Wasserstrahlpumpe und darauf mit einer ständig arbeitenden Quecksilbertropfpumpe bis zu Drucken




Figur 1.

über 0,0001 mm Hg hinab evakuiert werden. In dem Schliff, welcher die Röhre schloß, befanden sich zwei eingekittete Kupferstäbe *S*, welche zur Zuführung des Heizstromes dienten; sie hatten einen Durchmesser von ca. 4 mm, so daß eine Erwärmung derselben, welche den für die Kittung verwendeten weißen Siegellack erweicht hätte, ausgeschlossen war. Die zu untersuchenden Metalle

$K$ wurden als kleine Blechfolien von der Größe 14 × 2 mm in die Köpfe der Stäbe $S$ eingespannt und konnten durch den der Batterie $B_2$ entnommenen Heizstrom bis zu den höchsten Glühtemperaturen erhitzt werden. Der Heizstrom wurde durch den Widerstand $W_1$ reguliert und überschritt selten die Stärke von 2,5 Amp. Die Batterie $B_2$, das Amperemeter $A_1$, die Widerstände $W_1$ und $W_2$, das Galvanometer $G$ waren auf einer von der Erde isolierten Platte aufgestellt und wurden gleichzeitig mit der Kathode auf das durch die zu messenden Sättigungsströme bedingte Potential, welches der Batterie $B_1$ entnommen wurde, geladen. Als Anode diente eine dünne kreisrunde Scheibe $C$ aus Messingblech, die im Boden der Untersuchungsröhre mit einem dünnen Draht durch Siegellack befestigt war, welcher durch die Erdschlußwippe $H$ zum Elektrometer $E$ führte, wo er mit dem einen Quadrantenpaar leitend verbunden war. Die von der Kathode ausgesandten Elektronen mußten ein Diaphragma $D$ von 5 mm Durchmesser passieren, welches mit dem elektrostatischen Schutz $J$ der beiden Elektroden verlötet war. Dieser Schutz $J$ bestand aus einem dünnen Messingrohr von 38 mm Durchmesser, war an den Enden mit Deckeln versehen und zur Erde abgeleitet. Zum Durchlaß der ultravioletten Strahlen trug er einen 20 mm langen und 2 mm breiten Schlitz, so daß auf der Blechfolie eine Fläche von etwa 4 qmm bestrahlt war. Sämtliche inneren Teile der Röhre waren durch Ruß geschwärzt. Das zweite Quadrantenpaar des Elektrometers $E$ war geerdet und die Nadel durch die Batterie $B_3$ auf einen Potential von 80 Volt geladen. Die Stärke des Stromes, der von der Elektrode $C$ durch die Wippe $H$ zur Erde floß, war ein Maß für die lichtelektrische Empfindlichkeit und konnte bei aufgehobenem Erdschluß am Elektrometer gemessen werden. Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug im Durchschnitt etwa 100 Skalenteile pro Volt. Die Eichung wurde täglich vorgenommen. Das Elektrometer $E$, die Batterie $B_3$, die Wippe $H$, die Untersuchungsröhre und ihre Verbindungen untereinander waren durch Kästen aus Zinkblech bzw. durch Messingröhren, die durch die Wasserleitung zur Erde abgeleitet waren, elektrostatisch geschützt. Vor jedem Versuch habe ich mich von der guten Isolation des Elektrometers überzeugt. Als ultraviolette Lichtquelle diente eine Quarzquecksilberlampe $Q$, deren Lichtstrahlen durch die Quarzplatte $R$ und durch den Schlitz des Schutzmantels $J$ auf die Kathodenbleche fielen. Die Lampe brannte nach 15 Minuten Brenndauer bei 12 Volt und 3,25 Amp.

stundenlang konstant. Zwischen der Quarzquecksilberlampe $Q$ und der Quarzplatte $R$ war ein Blechschieber angebracht, um die ultraviolette Strahlung aufheben zu können.

Um die Temperatur zu bestimmen, brachte ich unmittelbar an die zu untersuchenden Metalle $K$ anfangs ein Thermoelement an. Es traten hierbei jedoch eine große Reihe von Schwierigkeiten auf. So bogen sich die Bleche beim Erhitzen durch und berührten das Thermoelement gar nicht, so daß die abgelesenen Temperaturen falsch waren. Ich bestimmte daher die Temperaturen indirekt mit Hilfe der Methode der Widerstandsänderung. Zu diesem Zwecke wurde bei jeder Messung des lichtelektrischen Effekts die Heizstromstärke $J$ durch das Amperemeter $A_1$ und das Potentialgefälle $E$ an dem Elektrodenblech unter Zuhilfenahme eines Reduktionswiderstandes $W_2$ mit dem Galvanometer $G$ durch Spiegelablesung in willkürlichem Maße ermittelt. Aus diesen Werten und den dazugehörigen Temperaturen, die mittels eines geeichten Thermoelementes gefunden waren, zeichnete ich zu jedem zu untersuchenden Metall eine Eichkurve. Hierbei waren die Temperaturen in $C^0$ als Abszissen und als Ordinaten die Werte $EJ$ in willkürlichem Maße aufgetragen. Waren mir $E$ und $J$ bekannt, so konnte ich aus diesen Eichkurven sogleich die entsprechende Temperatur ablesen. Diese Methode besitzt einige Ungenauigkeit, dürfte jedoch für die vorliegenden Versuche vollkommen hinreichend sein.

Die Versuche wurden nun in der folgenden Weise durchgeführt. Zunächst wurden die etwa 0,01 mm starken Bleche längere Zeit über dem Bunsenbrenner bis auf Weißglut erhitzt und darauf mehrere Stunden im äußersten Vakuum durch den Heizstrom geglüht. War der Minimaldruck erreicht und zeigten sich in der Quecksilberfallröhre der Pumpe keine Gasspuren mehr, woraus auf eine vollkommene Fortschaffung der okkludierten Gase zu schließen war, so wurden die Messungen des lichtelektrischen Effektes angestellt. Das Elektrometer wurde geeicht, die Kathode auf das Potential geladen und der Heizstrom eingeschaltet, wenn die Messung nicht gerade bei Zimmertemperatur gemacht werden sollte. Nachdem die Stromstärke $J$ und das Potentialgefälle $E$ abgelesen waren, wurde bei den verschiedenen Temperaturen der Elektrode der Wärmeeffekt bei verdecktem Licht durch Spiegelablesung am Quadrantenelektrometer gemessen. Bei Belichtung der Elektrode ermittelte ich dann in gleicher Weise Wärmeeffekt plus Photoeffekt. Durch Subtraktion beider erhielt ich den reinen Photoeffekt.

Meine Messungen sind bis zu Temperaturen von etwa 700 bis 800° ausgeführt. Oberhalb dieser Temperaturgrenze den verhältnismäßig kleinen Photoeffekt zu messen, war mir wegen des mit zunehmender Temperatur gewaltig ansteigenden Wärmeeffekts unmöglich.

## III. Untersuchung der Metalle.

Um die Versuchsanordnung zu prüfen, habe ich eine Reihe von Messungen mit reinen Metallen ausgeführt. Mit steigender Temperatur ergaben sich für den lichtelektrischen Effekt ziemlich konstante Werte. War aber die dunkle Rotglut erreicht, so steigerte sich der lichtelektrische Effekt auch bei fallender Temperatur ganz bedeutend. Einen besonders markanten Fall zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1.

Platin. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 53 Sktl.

| Temp. | Photoeffekt | Temp. | Photoeffekt |
|---|---|---|---|
| 310° | 44 | 530° | 44 |
| 350° | 46 | 510° | 46 |
| 430° | 43 | 470° | 46 |
| 440° | 42 | 450° | 57 |
| 490° | 45 | 430° | 67 |
| 520° | 45 | 380° | 75 |
| 550° | 43 | 350° | 105 |
| 590° | 44 | 305° | 128 |

Nahm ich mehrere derartige Versuchsreihen hintereinander auf, so stieg der Effekt stufenartig an, erreichte jedoch schließlich einen Maximalwert, der sich als konstant erwies. Ließ ich zwischen zwei Versuchsreihen mehrere Stunden vergehen, ohne die Elektrode zu glühen, jedoch unter ständigem Betrieb der Vakuumpumpe, so zeigte sich fast immer eine Verkleinerung des Photoeffekts, was ich auf Gasanlagerungen zurückführe. Die Gasreste sind also von großem Einfluß auf den lichtelektrischen Effekt. Um sie möglichst zu entfernen, glühte ich die Bleche stets mehrere Stunden aus; auf diese Weise gelang es mir, eine gute Konstanz zu erzielen bis auf einzelne stark aus der Reihe fallende Werte, welche jedenfalls durch unkontrollierbare Einflüsse innerhalb der Apparate verursacht sind. Wesentlich konstanter wurden auch die Werte dadurch, daß ich

die Elektroden während des Ausglühens dauernd mit der Quecksilberlampe bestrahlte.

In dieser Weise wurde der Einfluß der Temperatur auf das lichtelektrische Verhalten von Platin, Gold und Palladium im äußersten Vakuum gemessen. Tabelle 2 zeigt das Resultat einer solchen Versuchsreihe.

Tabelle 2.

Platin. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 104 Sktl.

| Temp. | Photoeffekt | Temp. | Photoeffekt |
|---|---|---|---|
| 230° | 45 | 430° | 43 |
| 270° | 47 | 380° | 47 |
| 320° | 44 | 270° | 47 |
| 380° | 43 | 220° | 45 |
| 430° | 45 | 190° | 47 |
| 500° | 46 | | |

Eine Reihe von anderen Versuchen an Gold, Platin und Palladium ergaben dieselben Resultate; ich übergehe sie daher hier. Auch finden sich in nachfolgendem (siehe Kap. VI) noch eine Anzahl von Reihen, welche dasselbe Ergebnis zeigen.

Aus diesen Versuchen ergibt sich somit in Übereinstimmung mit den Resultaten von Lienhop, Millikan und Ladenburg: Die Temperatur hat keinen Einfluß auf den lichtelektrischen Effekt.

## IV. Untersuchung der Metalloxyde.

Um den Einfluß der Temperatur auf die Größe des lichtelektrischen Effektes bei Verbindungen festzustellen, habe ich mich auf die Untersuchung von Oxyden beschränkt, weil sie allein selbst bis zu den höchsten Temperaturen beständig sind. Das Untersuchungsverfahren war dem bei den Metallen benutzten analog. Auf Platinfolie von der gleichen Größe und Stärke wie früher wurden Lösungen der Nitrate gebracht. Durch kräftiges Glühen der Bleche über dem Bunsenbrenner verwandelten sie sich in die entsprechenden Oxyde. Die Substanz haftete ziemlich fest an dem Platinblech und war kaum mit dem Schaber zu entfernen. Bevor ich die Bleche in die Untersuchungsröhre brachte, habe ich dieselben etwa 15 Minuten lang in der Bunsenflamme auf Weißglut erhitzt. Darauf wurden dieselben etwa 2 Stunden im Vakuum ausgeglüht bis sich keine Gasreste mehr abschieden.

Aus den Tabellen 3 und 4 sind die erhaltenen Resultate zu ersehen.

Tabelle 3.

Kupferoxyd. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 102 Sktl.

| Temp. | Photoeffekt | Temp. | Photoeffekt |
|---|---|---|---|
| 18° | 52 | 580° | 52 |
| 200° | 54 | 520° | 48 |
| 290° | 55 | 450° | 50 |
| 370° | 51 | 370° | 48 |
| 450° | 50 | 290° | 49 |
| 520° | 49 | 100° | 49 |
| 580° | 53 | 18° | 47 |
| 630° | 50 | | |

Tabelle 4.

Calciumoxyd. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 98 Sktl.

| Temp. | Photoeffekt | Temp. | Photoeffekt |
|---|---|---|---|
| 18° | 17 | 480° | 19 |
| 160° | 19 | 400° | 19 |
| 250° | 19 | 320° | 22 |
| 320° | 21 | 250° | 19 |
| 400° | 20 | 160° | 21 |
| 480° | 22 | 18° | 22 |
| 560° | 22 | | |

Diese Versuche zeigen, daß die Temperatur auch bei den Metalloxyden ohne jeden Einfluß auf deren lichtelektrischen Effekt ist.

Außer Kupferoxyd und Calciumoxyd habe ich noch Uranoxyd, Eisenoxyd, Zinkoxyd, Ceroxyd, Thoroxyd und Bariumoxyd untersucht. Eisenoxyd zeigte überhaupt keinen lichtelektrischen Effekt. Die Photoeffekte der übrigen Oxyde waren sehr klein und überstiegen sechs Skalenteile nicht. Auch bei ihnen habe ich bei einer Temperatursteigerung bis zum Glühen keine Vergrößerung des Effektes feststellen können. In einem Falle zeigte auch Calciumoxyd keinen Effekt. Vielleicht hängt dies mit Verunreinigungen zusammen. Auch in den oben angegebenen Reihen ist der lichtelektrische Effekt sehr klein.

Das lichtelektrische Verhalten der Metalloxyde ist somit genau wie das der Metalle. Ferner geht aus diesen Versuchen hervor,

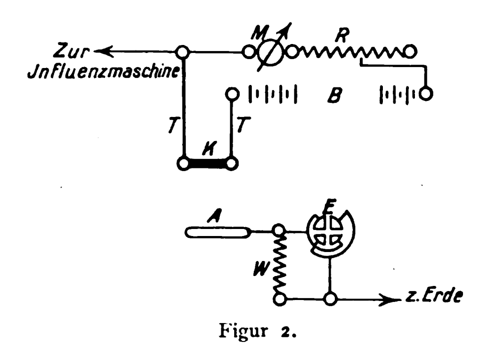
daß kein Zusammenhang besteht zwischen Hallwachs- und Wehnelteffekt. Nach Wehnelt[7]) zerfallen die Oxyde in zwei Klassen, nämlich in aktive und inaktive (s. Tabelle 5).

Tabelle 5.

| Gruppe | Aktiv | Inaktiv |
|---|---|---|
| Alkalimetalle | Calcium | |
| Magnesiagruppe | Zink | |
| Erdmetalle | Thor | Cer |
| Zinngruppe | | Kupfer |
| Eisengruppe | | Eisen |
| | | Uran |

Während also z. B. Kupferoxyd sehr stark lichtelektrisch empfindlich ist, sendet es bei höherer Temperatur keine Elektronen aus. Zink- und Thoroxyd sind nach Wehnelt aktiv, dagegen sehr wenig lichtelektrisch empfindlich.

Es erschien auch von Interesse, das Ergebnis, daß die Temperatur keinen Einfluß auf die lichtelektrische Empfindlichkeit der Oxyde hat, bei höheren Spannungen zu prüfen. Ist dies der Fall,




Figur 2.

so müßten sich die Oxyde genau wie die reinen Metalle verhalten, d. h. es war zu erwarten, daß der Strom anfangs bei kleinen Potentialen mit der Spannung geradlinig zunehmen, daß darauf Sättigung eintreten würde, bis bei noch höheren Spannungen durch Stoßionisation die Stromstärke stark zunehmen würde.

Die Versuchsanordnung stellt Figur 2 dar. Als Kathode diente eine Platinfolie $K$ von ungefähr 4 qcm Oberfläche und einem Widerstand von 0,015 $\Omega$, die durch Schrauben in zwei Messingklötzchen eingeklemmt war. In letztere waren dicke Kupferstäbe eingeschraubt,

die zur Influenzmaschine führten, der die verschiedenen Spannungen entnommen wurden. Um genügend variable konstante Spannungen zu erzielen, wurde eine Vorrichtung von Nienhaus[8]) benutzt. Die Kathode wurde durch eine isoliert aufgestellte Akkumulatorenbatterie erhitzt. In diesen Stromkreis wurden ein Amperemeter *M*, das eine Stromstärke von 0,05 Amp. abzulesen gestattete, und ein veränderlicher Widerstand *R* eingeschaltet. Dieser bestand aus einem dicken Manganindraht von geringem spezifischen Widerstand. Mit der Veränderung des Widerstandes *R* war eine Änderung der Temperatur verbunden. Die Batterie, das Amperemeter *M* und der Widerstand *R* waren auf einem Isolierschemel aufgestellt und wurden gleichzeitig mit der Kathode auf hohe Potentiale geladen. Als Anode diente ein dünner, zu einer länglichen Schleife zusammengebogener Eisendraht *A*. Über der Anode befand sich eine Blende, die es ermöglichte, das Licht nur auf die Kathode fallen zu lassen. Kathode und Anode wurden isoliert in einem gegen elektrostatische Einflüsse geschützten Kasten aufgebaut. Der mit Hilfe eines Quadrantenelektrometers gemessene Strom gab ein Maß für die lichtelektrische Empfindlichkeit des Metalls. Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug für ein Volt 220 Skalenteile. Das eine Quadrantenpaar war geerdet, das andere hatte Verbindung mit einem Erdkontakt, mit der Anode und dem einen Ende des Widerstandes *W*. Dieser bestand aus einer Jodkaliumlösung in xylolhaltigem Amylalkohol. Seine Größe betrug 7,107 $\Omega$. Das andere Ende des Widerstandes hatte Erdverbindung. Die an den beiden Enden des Widerstandes herrschende Potentialdifferenz war ein Maß für die lichtelektrische Empfindlichkeit und wurde am Elektrometer abgelesen. Die Stromstärke des lichtelektrischen Stromes ergab sich aus dieser Potentialdifferenz und aus dem konstanten Widerstand *W*. Die ganze Anordnung ist analog der von Nienhaus benutzten; wegen Einzelheiten kann ich daher auf die Arbeit verweisen.[8])

Die Temperatur wurde aus dem jeweiligen Widerstand berechnet. Es waren die Widerstände der Kathode bei $0^0$ bei $100^0$ und bei $445^0$ bestimmt worden. Die Temperaturen und ihre entsprechenden Widerstände wurden als Ordinaten und Abszissen in ein Koordinatensystem aufgetragen. Mit Hilfe der so erhaltenen Kurve war es möglich, falls der Widerstand bekannt war, auch die entsprechende Temperatur zu bestimmen. Der Widerstand der Kathode wurde durch Ermittelung der Stromstärke und der an den Enden herrschenden Spannungsdifferenz bestimmt. Um die letztere

zu messen, wurde in folgender Weise verfahren. Nachdem ein Versuch mit einer erhitzten Kathode gemacht war, wurde die Influenzmaschine ausgeschaltet. Das eine Ende der Kathode wurde mit der Erde verbunden, das andere mit der Anode. Das Elektrometer zeigte dann die zu messende Spannungsdifferenz an. Die Stromstärke wurde am Amperemeter $M$ abgelesen.

Die Versuche wurden in folgender Weise durchgeführt. Nachdem die Kathode ein bestimmtes Potential erhalten hatte und durch längeres Erhitzen die Temperatur konstant geworden war, wurde durch kurze Unterbrechung des Erdkontaktes der Nullpunkt des Elektrometers festgestellt. Hierauf wurde belichtet, und der von der Kathode zur Anode übergehende Strom floß zunächst zur Erde ab. Wurde dieser aufgehoben, so zeigte das Elektrometer den abzulesenden Ausschlag für die lichtelektrische Empfindlichkeit an.

Über die bei Platin, Kupferoxyd und Calciumoxyd erhaltenen Resultate geben die folgenden Tabellen, sowie die Kurven in Figur 3, 4 und 5 eine Übersicht, $F$ bedeutet das Funkenpotential, $T$ ist die Temperatur der Kathode. Ferner bezeichnet $V$ das Potential und $i$ die Stromstärke.

Tabelle 6. Platin. $F = 3100$ Volt. $T = 18^0$.

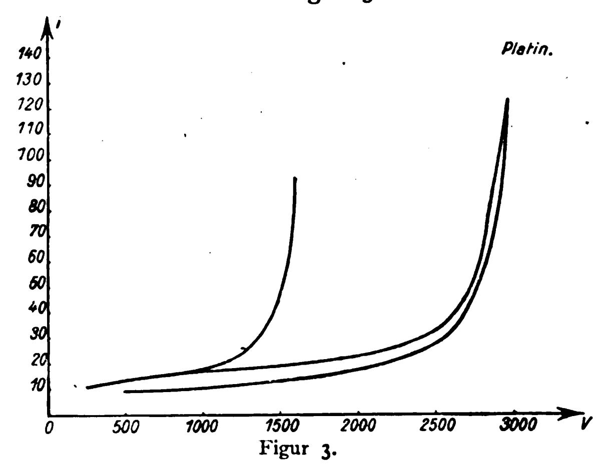
| $V$ | $i$ | $V$ | $i$ |
|---|---|---|---|
| 250 | $10 \cdot 10^{-10}$ | 2800 | $57 \cdot 10^{-10}$ |
| 850 | 16 | 2700 | 40 |
| 1300 | 19 | 2600 | 33 |
| 2300 | 27 | 2450 | 28 |
| 2700 | 45 | 2200 | 21 |
| 2750 | 51 | 1700 | 16 |
| 2800 | 61 | 1400 | 14 |
| 2900 | 104 | 800 | 10 |
| 2950 | 123 | 500 | 9 |

Tabelle 7. Platin. $F = 1750$ Volt. $T = 560^0$.

| $V$ | $i$ | $V$ | $i$ |
|---|---|---|---|
| 450 | $13 \cdot 10^{-10}$ | 1500 | $49 \cdot 10^{-10}$ |
| 1200 | 21 | 1400 | 32 |
| 1400 | 31 | 1100 | 19 |
| 1480 | 40 | 1000 | 18 |
| 1500 | 50 | 800 | 15 |
| 1550 | 68 | 400 | 12 |
| 1600 | 92 | | |



Diese Versuchsreihen stellt Figur 3 dar.




Figur 3.

Tabelle 8.

Calciumoxyd. $F = 3650$. $T = 18^0$.

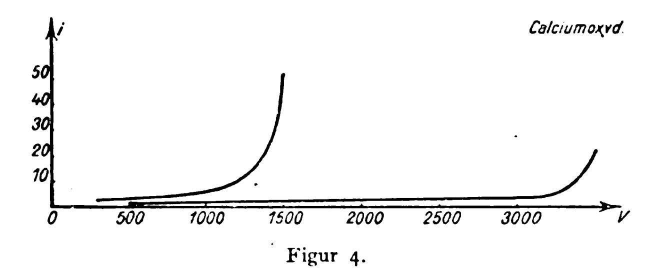
| $V$ | $i$ | $V$ | $i$ |
|---|---|---|---|
| 500 | $2 \cdot 10^{-10}$ | 3300 | $8 \cdot 10^{-10}$ |
| 2600 | 2 | 3400 | 13 |
| 3000 | 3 | 3500 | 22 |
| 3200 | 4 | | |

Tabelle 9.

Calciumoxyd. $F = 1590$ Volt. $T = 575^0$.

| $V$ | $i$ | $V$ | $i$ |
|---|---|---|---|
| 300 | $3 \cdot 10^{-10}$ | 1400 | $21 \cdot 10^{-10}$ |
| 800 | 4 | 1450 | 35 |
| 1100 | 7 | 1500 | 52 |
| 1300 | 13 | | |

Diese Versuchsreihen sind in Figur 4 dargestellt.




Figur 4.

Tabelle 10.

Kupferoxyd. $F = 3200$ Volt. $T = 18^{0}$.

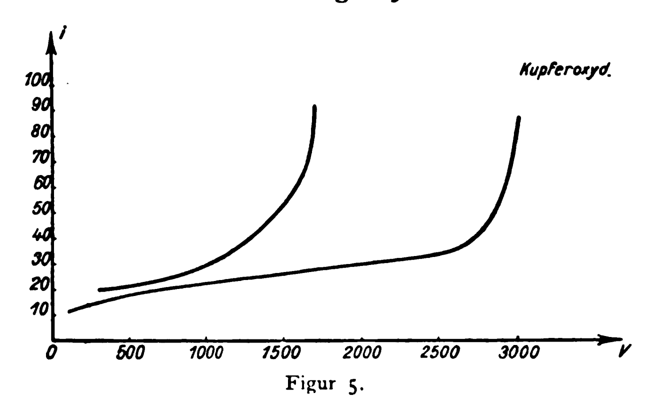
| $V$ | $i$ | $V$ | $i$ |
|---|---|---|---|
| 100 | $11 \cdot 10^{-10}$ | 2100 | $30 \cdot 10^{-10}$ |
| 350 | 15 | 2550 | 34 |
| 450 | 17 | 2800 | 43 |
| 600 | 19 | 2850 | 46 |
| 1100 | 23 | 2900 | 53 |
| 1900 | 28 | 3000 | 89 |

Tabelle 11.

Kupferoxyd. $F = 1850$ Volt. $T = 582^{0}$.

| $V$ | $i$ | $V$ | $i$ |
|---|---|---|---|
| 300 | $19 \cdot 10^{-10}$ | 1450 | $47 \cdot 10^{-10}$ |
| 600 | 24 | 1550 | 53 |
| 800 | 27 | 1600 | 63 |
| 1100 | 32 | 1650 | 76 |
| 1350 | 41 | 1700 | 92 |
| 1400 | 44 | | |

Diese Versuchsreihen stellt Figur 5 dar.




Figur 5.

Die beiden Teile der Tabelle 6 stimmen bei auf- bzw. absteigenden Potentialen nicht überein. Es macht sich der Einfluß der Ermüdung geltend. Bei höheren Temperaturen, vgl. Tabelle 7, erhält man unabhängig von der verflossenen Zeit dieselben Werte für die lichtelektrische Empfindlichkeit. Hieraus folgt:

1. Bei hohen Temperaturen zeigen Elektroden keine Ermüdung. Diese Erscheinung spricht zugunsten der Auffassung, daß die Ermüdung in manchen Fällen von einer Adsorption von Gasen herrührt.

Weiter ergeben die Tabellen 6 bis 11:

2. Das Funkenpotential, d. h. das Potential, bei dem der Funken ohne Belichtung übergeht, wird durch Steigerung der Temperatur stark herabgesetzt.

3. Metalle und Metalloxyde verhalten sich auch bei hohen Spannungen und Temperaturen analog. Der Verlauf der Kurven, welche die Beziehung zwischen lichtelektrischem Strom und Potential darstellen, ist bei hohen Temperaturen identisch dem bei gewöhnlicher Temperatur, d. h. anfangs nimmt die Stromstärke mit wachsendem Potential geradlinig zu, darauf tritt Sättigung ein, und schließlich tritt durch Stoßionisation eine starke Vergrößerung auf.

## V. Untersuchung der Metallsulfide.

Erhitzt man Metallsulfide, so tritt bei einer ganz bestimmten Temperatur ein Erweichen der Sulfide und eine Umwandlung in eine andere Modifikation ein. Nach Hittorf[9]) liegt dieser Umwandlungspunkt für Kupfersulfid bei etwa 105° und für Silbersulfid etwa bei 170°. Es interessierte nun, zu erfahren, ob der Übergang aus einer Modifikation in die andere bei dem Umwandlungspunkt von irgendwelchem Einfluß auf die Größe des lichtelektrischen Effektes sei.

Ich untersuchte die beiden genannten Sulfide in der früher geschilderten Weise im Vakuum. Zu dem Zwecke wurden Kupfer und Silber als Kupfersulfat- und Silbernitratlösung auf gereinigtem und stark ausgeglühtem 0,01 mm starkem Platinblech niedergeschlagen. Diese wurden in Schwefeldämpfe gehalten und überzogen sich dann mit einer feinen Schicht Schwefel. In der Glühhitze des Bunsenbrenners bildete sich dann eine feine, fest anhaftende Schicht der Sulfide, so daß die Bleche eine Stärke von etwa 0,02 mm hatten. Vor den Messungen wurden die Bleche etwa 2 Stunden im Vakuum schwach erwärmt. Die Eichkurven zur Ermittelung der Temperatur wurden auf das genaueste bis etwa 400° C in der früher geschilderten Weise aufgenommen.

Die Versuchsergebnisse sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 12.

Kupfersulfid. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 70 Sktl.

| Temp. | Photoeffekt | Temp. | Photoeffekt |
|---|---|---|---|
| 18° | 23 | 670° | 25 |
| 30° | 29 | 530° | 25 |
| 90° | 31 | 390° | 29 |
| 165° | 28 | 260° | 27 |
| 260° | 24 | 165° | 26 |
| 390° | 28 | 90° | 31 |
| 530° | 24 | 30° | 27 |
| 675° | 27 | 18° | 29 |
| 800° | 26 | | |

Tabelle 13.

Silbersulfid. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 68 Sktl.

| Temp. | Photoeffekt | Temp. | Photoeffekt |
|---|---|---|---|
| 18° | 20 | 590° | 20 |
| 50° | 18 | 450° | 22 |
| 125° | 19 | 340° | 19 |
| 195° | 21 | 195° | 18 |
| 350° | 19 | 125° | 19 |
| 450° | 19 | 50° | 21 |
| 590° | 21 | 18° | 19 |
| 720° | 23 | | |

Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß der Übergang der Sulfide aus einer Modifikation in die andere keinen Einfluß auf die Größe des lichtelektrischen Effektes hat. Auch bleibt bei einer weiteren Temperatursteigerung diese ohne Einfluß auf den Effekt. — Wie von Dember nachgewiesen, bleibt auch beim Übergang aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand der lichtelektrische Effekt konstant. Aus diesen und meinen Versuchen ist daher zu schließen, daß das Aussenden von Elektronen unter dem Einfluß des Lichts nicht verändert wird, wenn mehrere Moleküle zu einem größeren Aggregat zusammentreten bzw. daraus zerfallen.

## VI. Untersuchung des Einflusses der Okklusion von Gasen auf den lichtelektrischen Effekt.

Wie schon oben erwähnt, erhielt ich je nach der Glühtemperatur und Dauer der Erhitzung ganz verschiedene Werte für den lichtelektrischen Strom. Ließ man das Platinblech selbst im äußersten Vakuum 12 bis 14 Stunden stehen, so unterschieden sich die Stromstärken vielfach um mehrere 100 % von den früher erhaltenen. Daß sich hierbei keine leichtflüchtige Substanz, die aus dem Siegellack usw. stammen konnte, auf das Metallblech, welches der Belichtung ausgesetzt wurde, niedergeschlagen und dadurch die Oberfläche verändert hatte, ging daraus hervor, daß der Effekt bei schwachem Erhitzen konstant blieb. Es mußte also irgend eine Veränderung der Oberfläche vor sich gegangen sein, die verhältnismäßig beständig war. Am wahrscheinlichsten erschien mir, daß der verschiedene Gehalt des Metalls an Gasen von ausschlaggebender Bedeutung für den Effekt sei. Im folgenden habe ich diese Annahme geprüft, indem ich künstlich Gase in das Metall brachte bzw. entfernte und die damit verbundene Änderung des lichtelektrischen Effekts bestimmte. Beim Glühen traten wieder Gase aus, wobei sich die Oberfläche und damit auch der lichtelektrische Effekt veränderte. Wie die Beladung der Oberfläche eines Metalls mit einem Gase auf den lichtelektrischen Effekt wirkt, darüber gehen die Ansichten auseinander. Nach Millikan und Winchester[3]) und Ladenburg[4]) ist der lichtelektrische Effekt im Vakuum an einer okkludierte Gase enthaltenden Oberfläche wesentlich kleiner als nach Entfernung der Gase. Holman[10]) dagegen, der die Entdeckung Skinners[11]) benutzt, daß ein Metall bei Verwendung als Anode im Glimmstrom in einer Wasserstoffatmosphäre Wasserstoff aufnimmt und dies absorbierte Gas bei Benutzung als Kathode wieder abgibt, findet, daß im allgemeinen Befreiung der Platte von Wasserstoff den lichtelektrischen Effekt im Vakuum erniedrigt, Beladung mit Wasserstoff ihn erhöht. Dieser Schluß ist aber nicht sicher, denn sogar aus einigen Reihen Holmans läßt sich das entgegengesetzte Resultat ableiten. Chrisler[12]) schließlich, der bei 1 mm Druck in Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Helium Versuche angestellt hat, kommt zu dem Ergebnis, daß die Anwesenheit von Wasserstoff, der in der Oberfläche okkludiert ist, von außerordentlicher Bedeutung für die Größe des lichtelektrischen Stromes ist; in Sauerstoff und Helium erhält er solch kleine Werte für den lichtelektri-

schen Strom, daß er glaubt, er würde hier den Strom Null erhalten, wenn es möglich wäre, die Platte ganz von Wasserstoff zu befreien.

Um zwischen diesen widersprechenden Resultaten zu entscheiden, habe ich eine Reihe von Versuchen gemacht, indem ich die Metalle künstlich mit Gasen sättigte bzw. sie austrieb. Ich benutzte hierzu das Verfahren von Skinner. Es wurde das zu untersuchende Blech zunächst stundenlang im Vakuum geglüht. Nachdem man die an der Oberfläche liegende Gasschicht auf diese Weise vertrieben hatte, war der lichtelektrische Strom bei steigender und fallender Temperatur konstant. Jetzt wurde das Blech $K$ (siehe Figur 1) mit dem negativen oder positiven Pol des Induktoriums verbunden und der Effekt gemessen; nachdem darauf die Temperatur gesteigert und wieder der normale Effekt, d. h. der Strom gemessen war, der zwischen den Elektroden überging, ohne daß vorher das Induktorium in Tätigkeit gesetzt worden war, wurde, wie oben geschildert, $K$ wieder zur Anode bzw. Kathode gemacht usw. Der normale lichtelektrische Effekt ist natürlich jetzt nicht mehr konstant wie bei den früheren Versuchen (siehe Tabelle 2), da wenn man z. B. den Funken hatte durchgehen lassen und nun die Temperatur steigerte, eventuell noch Gase von dem vorhergehenden Versuch zurückgehalten wurden, welche den lichtelektrischen Strom beeinflußten. Um möglichst unabhängig von der Vorgeschichte des Bleches zu sein, wurde das eine Mal das Metall zuerst zur Anode gemacht und bei der nächsten Versuchsreihe zuerst mit der Kathode und darauf mit der Anode verbunden. Ferner wurden, um die aus dem Siegellack, Fett usw. stammenden, auf dem Metallblech eventuell niedergeschlagenen Oberflächenschichten zu entfernen, die Effekte hauptsächlich nur bei höheren Temperaturen beobachtet.

Die Gase wurden möglichst rein dargestellt. Wasserstoff wurde im Kippschen Apparat aus arsenfreiem Zink hergestellt, in Kalilauge gewaschen und etwa 10 Minuten ins Freie geleitet. Stickstoff wurde durch Erhitzen von Kalium nitrosum und Ammonium nitricum erzeuzt, mit Kalilauge, Ferrosulfatlösung und Schwefelsäure gewaschen und sodann über glühendes Kupfer geleitet. Sauerstoff wurde durch Erhitzen von Kaliumpermanganat entwickelt und in konzentrierter Kalilauge gewaschen, bevor das Gasometer gefüllt wurde.

Nachdem die okkludierten Gase aus den Blechen durch andauerndes kräftiges Glühen derselben im Vakuum herausgetrieben waren, wurden die oben bezeichneten Gase durch ein mit Phosphor-

pentoxyd gefülltes Trockengefäß in den Vakuumraum eingeleitet, bis der Druck auf etwa 1 Atmosphäre anstieg. Dies wurde bei allen Versuchen dreimal wiederholt. Ich konnte alsdann sicher annehmen, daß der weitaus größte Teil der bei den eigentlichen Messungen noch vorhandenen Gasreste aus dem eingeleiteten Gase bestand.

Diese Versuche habe ich im Vakuum und bei 3 mm Hg ausgeführt. Über die Resultate geben die folgenden Tabellen Aufschluß:

Tabelle 14.

Platin. Luft. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 104 Sktl.

| Temp. | norm. Effekt | Elektrode Kathode | Temp. | norm. Effekt | Elektrode Anode |
|---|---|---|---|---|---|
| 240° | 78 | 111 | 260° | 119 | 55 |
| 380° | 90 | 120 | 330° | 120 | 110 |
| 490° | 121 | 129 | 460° | 105 | 118 |
| | | | 250° | 122 | 76 |

Tabelle 15.

Platin. Stickstoff. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 100 Sktl.

| Temp. | Effekt | Temp. | Effekt |
|---|---|---|---|
| 280° | 33 | 540° | 35 |
| 330° | 33 | 490° | 37 |
| 380° | 33 | 440° | 37 |
| 440° | 35 | 380° | 35 |
| 500° | 36 | 340° | 35 |
| 580° | ca. 40 | 300° | 36 |

Tabelle 16.

Platin. Stickstoff. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 100 Sktl.

| Temp. | norm. Effekt | Elektrode Kathode | Temp. | norm. Effekt | Elektrode Anode |
|---|---|---|---|---|---|
| 245° | 19 | 28 | 280° | 47 | 28 |
| 290° | 21 | 30 | 330° | 38 | 25 |
| 330° | 20 | 31 | 380° | 31 | 20 |
| 380° | 19 | 28 | 430° | 27 | 24 |
| 420° | 22 | 34 | 500° | 35 | 34 |
| 470° | 19 | 23 | 550° | 43 | 42 |
| 540° | 22 | 21 | 580° | 45 | 47 |

Tabelle 17.

Platin. Sauerstoff. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 98 Sktl.

| Temp. | Effekt | Temp. | Effekt |
|---|---|---|---|
| 240° | 10 | 520° | ca. 10 |
| 290° | 10 | 440° | 9 |
| 340° | 10 | 340° | 10 |
| 390° | 11 | 290° | 11 |
| 440° | 9 | 240° | 10 |

Tabelle 18.

Platin. Sauerstoff. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 98 Sktl.

| Temp. | norm. Effekt | Elektrode Kathode | Temp. | norm. Effekt | Elektrode Anode |
|---|---|---|---|---|---|
| 240° | 10 | 15 | 240° | 14 | 11 |
| 290° | 11 | 16 | 290° | 14 | 11 |
| 340° | 14 | 15 | 340° | 13 | 12 |
| 390° | 14 | 13 | 390° | 13 | 13 |
| 440° | 11 | 12 | 440° | 12 | 12 |
| 520° | 12 | 12 | 520° | 13 | 14 |

Tabelle 19.

Platin. Wasserstoff. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 80 Sktl.

| Temp. | Effekt | Temp. | Effekt |
|---|---|---|---|
| 270° | 15 | 490° | 14 |
| 325° | 15 | 430° | 15 |
| 380° | 15 | 380° | 14 |
| 430° | 15 | 325° | 14 |
| 490° | 15 | 270° | 15 |
| 550° | 16 | | |

Tabelle 20.

Platin. Wasserstoff. Vakuum. Elektrometer: 1 Volt = 80 Sktl.

| Temp. | norm. Effekt | Elektrode Kathode | Temp. | norm. Effekt | Elektrode Anode |
|---|---|---|---|---|---|
| 260° | 12 | 20 | 260° | 13 | 7 |
| 290° | 15 | 17 | 290° | 10 | 9 |
| 360° | 11 | 13 | 360° | 9 | 11 |
| 410° | 12 | 12 | 410° | 12 | 12 |
| 470° | 13 | 13 | 470° | 10 | 11 |
| 550° | 12 | 11 | 550° | 11 | 12 |

Tabelle 21.

Platin. Wasserstoff. 3 mm Druck. Elektrometer: 1 Volt = 80 Sktl.

| Temp. | norm. Effekt | Elektrode Kathode | Temp. | norm. Effekt | Elektrode Anode |
|---|---|---|---|---|---|
| 210° | 25 | 35 | 210° | 10 | 8 |
| 280° | 33 | 66 | 280° | 12 | 10 |
| 390° | 56 | 40 | 390° | 14 | 12 |
| 480° | 25 | 25 | 480° | 14 | 14 |
| 550° | 22 | 18 | 550° | 14 | 12 |
| 630° | 18 | 14 | 630° | 11 | 11 |
| 690° | 13 | 14 | 690° | 12 | 10 |
| 750° | 14 | 13 | 750° | 12 | 11 |
| 18° | 13 | 26 | 18° | 12 | 7 |

Die unter denselben Bedingungen mit Gold und Palladium in Luft, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff angestellten Versuche[13]) ergaben das gleiche Resultat: Ist das zu untersuchende Blech Anode eines Glimmstromes gewesen, so wird seine lichtelektrische Empfindlichkeit verkleinert, ist es Kathode gewesen, so wird sie vergrößert. Je höher die Temperatur, desto kleiner ist dieser Effekt und er verschwindet ganz bei etwa 400°. Ein besonderer Einfluß der chemischen Natur des Gases konnte nicht festgestellt werden. Da nach Skinner Metalle bei Verwendung als Kathode Gase abgeben und bei Verwendung als Anode Gase aufnehmen und bei höherer Temperatur die Adsorption von Gasen abnimmt, so spricht dies Ergebnis zugunsten der Auffassung von Millikan u. Winchester und Ladenburg, daß Okklusion von Gasen die lichtelektrische Empfindlichkeit verkleinert.

Diese Resultate stehen im Gegensatz zu denen von Chrisler; allerdings sind auch die Versuchsbedingungen andere, insofern Chrisler nur bei gewöhnlichen Temperaturen und ich hauptsächlich bei höheren Temperaturen beobachtet habe. Daß aber hierin nicht der Grund für die Differenz der Ergebnisse liegen kann, geht aus meinen bei gewöhnlicher Temperatur angestellten Messungen hervor, die mit denen bei höherer Temperatur gut übereinstimmen. Chrisler hat seine Bleche nie ausgeglüht, sie enthalten daher sicherlich noch große Mengen von Gasen okkludiert und dies ist jedenfalls der Hauptgrund für die abweichenden Resultate. Mir ist

es nicht gelungen, eindeutige Resultate zu erhalten, wenn die Bleche nicht vorher stundenlang geglüht wurden. Jedenfalls ist sein Schluß, daß die Metalle lichtelektrisch unempfindlich sein würden, wenn es möglich wäre, sie ganz von Wasserstoff zu befreien, nicht aufrecht zu erhalten, da nach den sorgfältigen Versuchen von Dember[5]) die lichtelektrische Empfindlichkeit der Ka-Na-Legierung in Helium größer ist als in Wasserstoff.

## VII. Zusammenfassung der Resultate.

1. Die Temperatur hat keinen Einfluß auf den lichtelektrischen Effekt der Metalle.

2. Die Temperatur ist auch bei den Metalloxyden ohne jeden Einfluß auf den lichtelektrischen Effekt.

3. Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Hallwachs- und dem Wehnelteffekt.

4. Bei hohen Temperaturen zeigen Elektroden keine Ermüdung. Dies spricht zugunsten der Auffassung, daß die Ermüdung in manchen Fällen von einer Adsorption von Gasen herrührt.

5. Das Funkenpotential, d. h. das Potential, bei dem der Funken ohne Belichtung zwischen den Elektroden übergeht, wird durch Steigerung der Temperatur stark herabgesetzt.

6. Metalle und Metalloxyde verhalten sich auch bei hohen Spannungen analog: Der Verlauf der Kurven, welche die Beziehung zwischen dem lichtelektrischen Strom und Potential darstellen, ist bei hohen Temperaturen identisch dem bei gewöhnlicher Temperatur, d. h. anfangs nimmt die Stromstärke mit wachsendem Potential geradlinig zu, darauf tritt Sättigung ein und schließlich vergrößert sich der Strom durch Stoßionisation sehr stark.

7. Der Übergang der Sulfide aus einer Modifikation in die andere hat keinen Einfluß auf die Größe des lichtelektrischen Effektes. Auch bleibt bei einer weiteren Steigerung der Temperatur diese ohne Einfluß auf den Effekt.

8. Ist das zu untersuchende Metall Anode eines Glimmstromes gewesen, so wird seine lichtelektrische Empfindlichkeit verkleinert, ist es Kathode gewesen, so wird sie vergrößert. Je höher die Temperatur, desto kleiner ist dieser Effekt und er verschwindet bei etwa 400° ganz. Ein besonderer Einfluß der chemischen Natur

des Gases konnte nicht festgestellt werden. Da nach Skinner Metalle bei Verwendung als Kathode Gase abgeben und bei Verwendung als Anode Gase aufnehmen und bei höherer Temperatur die Adsorption von Gasen abnimmt, so spricht dies Ergebnis zugunsten der Auffassung von Millikan u. Winchester und Ladenburg, daß die Okklusion von Gasen die lichtelektrische Empfindlichkeit verkleinert.

Herrn Prof. Dr. Gerhard Schmidt, auf dessen Veranlassung ich diese Arbeit im Physikalischen Institut der Universität Münster ausführte, möchte ich auch an dieser Stelle für das derselben entgegengebrachte rege Interesse herzlichst danken.

## Literatur.

1) Lenard, Ann. d. Phys. **8.** 149. 1902; **12.** 490. 1903.
2) Lienhop, Ann. d. Phys. **21.** 281. 1906.
3) Millikan, Phys. Rev. **24.** 116. 1907 u. Phil. Mag. **14.** 188 1907.
4) Ladenburg, Verh. d. d. phys. Ges. **9.** 165. 1907.
5) Dember, Ann. d. Phys. **20.** 396. 1906.
6) Herrmann, Verh. d. d. phys. Ges. **11.** 1912.
7) Wehnelt, Ann. d. Phys. **14.** 425. 1904.
8) H. Nienhaus, Dissertation. Münster 1911.
9) Hittorf, Ann. d. Phys. u. Chem. **84.** 1. 1851.
10) Holman, Phys. Rev. **25.** 81. 1907.
11) Skinner, **21.** 1905; Phys. Rev. **1.** 15 und 169—180.
12) Chrisler, Phys. Rev. **27.** 267. 1908.
13) A. Hallermann, Dissertation. Münster 1913.





## Bücherbesprechungen.

Werke über Photographie.

**J. M. Eder.** Ausführliches Handbuch der Photographie, Bd. I, 3. Teil: Die Photographie bei künstlichem Licht, Spektrumphotographie, Aktinometrie und die chemischen Wirkungen des farbigen Lichtes. 3. Aufl. 643 S. mit 409 Abb. und 10 Tafeln. Halle 1912, W. Knapp. M. 28.—.

— — 4. Teil: Die photographischen Objektive. 3. Aufl. 321 S. mit 272 Abb. Halle 1911, W. Knapp. M. 12.—.

— — Rezepte und Tabellen für Photographie und Reproduktionstechnik. 8. Aufl. 264 S. Halle 1912, W. Knapp. M. 3.50.

**Eduard Valenta.** Die Photographie in natürlichen Farben, mit besonderer Berücksichtigung des Lippmannschen Verfahrens, sowie jener Methoden, welche bei einmaliger Belichtung ein Bild in Farben liefern. (Enc. d. Phot., Heft 2.) 2. Aufl. 180 S. mit 32 Abb. und 6 Tafeln. Halle 1912, W. Knapp. M. 6.—.

**Arthur Freiherr von Hübl.** Die Theorie und Praxis der Farbenphotographie mit Autochromplatten. (Enc. d. Phot., Heft 60.) 3. Aufl. 91 S. mit 6 Abb. Halle 1912, W. Knapp. M. 2.—.

— — Die Dreifarbenphotographie mit besonderer Berücksichtigung des Dreifarbendruckes und ähnlicher Verfahren. (Enc. d. Phot., Heft 26.) 3. Aufl. 212 S. mit 40 Abb. und 4 Tafeln. Halle 1912, W. Knapp. M. 8.—.

Die vorliegenden vortrefflichen Werke gehören seit dem Erscheinen der ersten Auflagen — zum Teil also schon seit mehreren Dezennien — zum unentbehrlichen Bücherbestand aller wissenschaftlich-photographisch Arbeitenden. Mit größter Sorgfalt ist bei der Neubearbeitung die auf vielen Gebieten inzwischen ganz ungeheuer angeschwollene Literatur berücksichtigt worden. Dadurch wird dem Forscher die Orientierung auf manchem höchst verwickelten Gebiet ganz ungemein erleichtert, z. B. durch die ausführliche Darlegung Eders im 3. Teil des I. Bandes über photographische Photometrie und Spektralphotographie. Die in den Werken enthaltenen Arbeitsvorschriften beruhen zum erheblichen Teil auf gründlicher eigener Erfahrung der hochverdienten Autoren.

Karl Schaum.

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.

Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1914. Heft 6.

# Ein Beitrag zur Bestimmung tertiärer Normalen der Gegend λ 2987 bis 4118 in dem Bogenspektrum des Eisens.

Von

Heinrich Viefhaus.

## Vorbemerkung.

Nach den Beschlüssen der International Union for Cooperation in Solar Research aus den Jahren 1906 und 1911 werden bekanntlich drei Arten von Wellenlängen unterschieden: eine primäre Wellenlängennormale — als solche ist die Wellenlänge der roten Cadmiumlinie gewählt worden, wie sie von Benoît, Fabry und Perot[1]) in guter Übereinstimmung mit der älteren Messung von Michelson[2]) gemessen worden ist[3]), sekundäre Normalen, d. h. Wellenlängen, die durch Interferenzmethoden an die erstgenannte Wellenlänge angeschlossen sind, und tertiäre Normalen, d. h. Wellenlängen, die durch Interpolation im Spektrum mittels der an zweiter Stelle genannten Normalen festzulegen sind. Die Aufgabe der Messung der primären Normale und ihres Anschlusses an das Metersystem kann als befriedigend gelöst angesehen werden, d.h. die Genauigkeit der Messung liegt innerhalb der Grenzen, die durch die Definition des Metersystems und die Anforderungen der praktischen spektroskopischen Messungen wie endlich durch die Definition der schärfsten zur Verfügung stehenden Spektrallinien gesetzt werden. In weniger vollständiger Weise ist die Aufgabe der Messung sekundärer Normalen gelöst. Hier hatte die Solar Union den folgenden Beschluß gefaßt:

„An die rote Cadmiumlinie sollen durch Interferenzmethoden Eisenlinien aus dem ganzen Spektrum als Normalen zweiter Ordnung angeschlossen werden, die nicht mehr als 50 I.A. auseinander

liegen und eine Genauigkeit von einigen Tausendsteln einer Angströmschen Einheit haben, dieser Schritt soll mindestens von zwei unabhängigen Beobachtern gemacht werden."

Durch diesen Beschluß wurden die Linien des Eisenbogens als sekundäre Normalen gewählt. Es wurde ferner stillschweigend angenommen, daß die Linien des Eisenbogens im ganzen genügend genau definierte Wellenlängen besitzen. Bestimmte Vorschriften über den Gebrauch des Eisenbogens wurden noch nicht hinzugefügt. Da der Eisenbogen in einigen Bezirken des Spektrums besonders in der Gegend 5600—5900 nicht genügend zahlreiche intensive Linien besitzt, so wurden als Ersatz Bariumlinien und Nickellinien vorgeschlagen und z. T. auch von einigen Beobachtern, z. B. Fabry und Buisson gemessen. Nach diesen Beschlüssen und Vorschlägen sind dann an mehreren Stellen Interferenzmessungen von sekundären Normalen ausgeführt worden, nämlich von Fabry und Buisson[4]), Pfund[5]) und Eversheim.[6])

In neuester Zeit sind diese Messungen dann noch ergänzt worden durch Messungen im Ultraviolett und im Ultrarot von Fabry und Buisson und von Burns sowie durch Messungen der Linien einiger anderer Elemente, z. B. des Heliums und des Neons durch Lord Rayleigh und Priest.[7])

Alle diese Messungen sekundärer Normalen zeigen im ganzen eine ausreichende Übereinstimmung, wenn auch durch die verwendeten Spiegel und die Methoden des Phasensprunges unvorhergesehene Schwierigkeiten entstanden.

Immerhin konnte die Solar Union mit gutem Grunde den Mittelwert dreier Messungsreihen von Fabry und Buisson, Eversheim und Pfund als sekundäre Normalen den weiteren Messungen zugrunde legen.

Die Liste dieser Normalen ist im Jahre 1911 publiziert worden und von zahlreichen Beobachtern bei direkten Messungen und Bestimmungen tertiärer Normalen zugrunde gelegt worden.

Eine weitere Prüfung der sekundären Normalen ist durch die Messung tertiärer Normalen geliefert worden, namentlich haben St. John und Miss Ware[8]) u. a. die Normalen in sich geprüft und dabei die Annahme der Kommission der Solar Union bestätigt, daß man die sekundären Normalen als bis auf 0,001 I.A. genau ansehen könne.

## Die tertiären Normalen.

Nachdem so die beiden ersten Teile der Aufgabe erledigt waren, die die Solar Union sich gesetzt hatte, sofern eine vollständige Erledigung überhaupt angestrebt war und angestrebt werden konnte, schien die Bestimmung der tertiären Normalen ohne erhebliche Hindernisse durchführbar. Es zeigte sich jedoch, daß dieses nicht der Fall war. Gerade bei diesem dritten Teile der Aufgabe haben sich zahlreiche unerwartete Hindernisse in den Weg gestellt. Die Messungen verschiedener Beobachter zeigten Abweichungen, die die Grenzen der Meßmethode und der praktischen Anforderungen der Spektroskopie weit überstiegen und deren Ursachen auch jetzt erst zum Teil aufgeklärt worden sind. Um so nötiger schien es, daß die Messungen von möglichst vielen Beobachtern mit möglichst verschiedenen Instrumenten ausgeführt werden. Ich habe mir daher ebenfalls die Aufgabe gestellt, in einem bestimmten Bereiche des Normal-Eisenspektrums eine Bestimmung der tertiären Normalen durchzuführen, und zwar unter möglichst genau bestimmten Bedingungen, die einen Vergleich mit anderen Messungen ohne weiteres zulassen. Auf diese Weise soll die folgende Untersuchung einem doppelten Zwecke dienen, einmal einer genaueren Messung des Eisenspektrums, das ja für zahlreiche spektroskopische Zwecke von fundamentaler Bedeutung ist, sodann soll sie ein Beitrag zur Kenntnis der tertiären Normalen und ihrer Fehlerquellen sein. Ehe ich zu meinen Messungen und der Beschreibung meiner Versuchsanordnung übergehe, wird es gut sein, eine kurze Übersicht über die bisherigen Messungen des Eisenspektrums, soweit sie hier in Frage kommen, und über die Abweichungen der bisherigen Messungen tertiärer Normalen zu geben.

## Messungen des Eisenbogens.

Die Wahl des Eisenbogens als Normal-Lichtquelle ist durch praktische und historische Gründe bestimmt worden. Einmal ist der Eisenbogen eine sehr helle und bequeme, dazu linienreiche Lichtquelle. Seine Linien sind verhältnismäßig gleichmäßig über die verschiedenen Teile des Spektrums verteilt und dazu schärfer als die Linien der meisten anderen Elemente. Hinzu kommt, daß alle bisherigen Messungen an den Eisenbogen angeschlossen sind.

Schon die Verwendung der Fraunhoferschen Linien als Normalen in älterer Zeit führte mit Notwendigkeit auf den Eisenbogen. Seit Angström sind daher alle Normalen aus dem Eisenbogen gewählt worden. Dieser Umstand allein bewirkt schon, daß man nicht ohne zwingende Gründe eine andere Normallichtquelle wird wählen können als den Eisenbogen, wenn man nicht den Anschluß an die älteren Messungen ganz verlieren will. Ob dagegen der Eisenbogen an und für sich als geeignete Lichtquelle zu bezeichnen ist, steht dahin. Nach manchen Erfahrungen der neueren Zeit ist diese Frage schon verneint worden. Jedenfalls scheint es, wie später noch zu zeigen sein wird, auf alle Fälle zweckmäßig, genaue Bestimmungen über die Art des Betriebes und der Benutzung des Eisenbogens zu treffen. Bei der Bedeutung des Eisenbogens scheint es einigermaßen verwunderlich, daß nur eine vollständige Messung existiert, in der auch die schwächeren Linien berücksichtigt sind. Es ist dies die ältere Messung von Kayser und Runge.[9]) Diese Messung ist jedoch veraltet. In seinem Handbuche hat jedoch Kayser eine neue Liste von Wellenlängen des Eisenbogens gegeben bis zur Intensität 1, die dadurch erhalten ist, daß Kayser die verschiedenen Messungen aus älterer und neuerer Zeit benutzt hat. Er hat dabei den Messungen der verschiedenen Autoren verschiedene Gewichte gegeben und durch Mittelbildung und Korrektion mittels der internationalen sekundären Normalen Zahlen erhalten, die man in Kaysers Handbuch Bd. VI S. 896—926 wiedergegeben findet. Als Genauigkeit schätzt Kayser für diese Zahlen etwa eine Grenze von 1—2 Hundertstel I.A. Das Verfahren ist natürlich nur ein Notbehelf und würde sehr willkürlich sein, wenn der Kritiker, der das Mittel bestimmt, nicht eine so außerordentliche Erfahrung und eine divinatio quaedam supernaturalis hätte, wie Herr Kayser sie besitzt. Es wird sich zeigen, daß in der Tat durch die Mittelbildung, die Herr Kayser vorgenommen hat, durchweg die zufälligen Fehler der einzelnen Linien außerordentlich herabgedrückt worden sind, so daß seine Liste von Wellenlängen des Eisenspektrums, solange keine zuverlässigen tertiären Normalen existieren, als brauchbarer Ersatz zum Anschluß an das internationale System empfohlen werden kann.

Von weiteren Messungen des Eisenspektrums seien die folgenden genannt:

1. Die Messungen von Rowland im Sonnenspektrum.[10])
2. Messungen im roten Teil des Bogenspektrums von Kochen.[11])

3. Messungen im roten Teil des Funkenspektrums von Eder und Valenta.[12])

4. Messungen im roten Teil des Bogenspektrums von Evans.[13])

5. Messungen des Bogens und des Funkens durch Exner und Haschek.[14])

6. Die Messungen von Kayser im internationalen System.[15])

7. Die Messungen von Papenfus im Bereiche $\lambda$ 4076—4375 und $\lambda$ 6065—6678.[16])

8. Die Messungen von Goos im Bereiche $\lambda$ 4282—6495.[17])

9. Die Messungen von St. John und Miss Ware in der Gegend $\lambda$ 5371—6495.[18])

10. Die Messungen von Geiger im roten und ultraroten Teil $\lambda$ 6750—9809.[19])

Von denselben stützen sich auf die internationalen Normalen die Messungen von Kayser, Papenfus, Goos, St. John und Miss Ware, Geiger. Hinzu kommt eine weitere Messungsreihe von Burns[20]), die nach Abschluß meiner Arbeit erschienen ist.

Die Messungen von Kayser und Runge im Bogenspektrum können nach den eigenen Angaben der Verfasser keine größere Richtigkeit wie 0,05 A. beanspruchen. Rowland glaubte eine Genauigkeit bis auf 0,01 A. erzielt zu haben. Aber die späteren Ausmessungen nach Interferenzmethoden durch Hamy, Benoît, Rayleigh erwiesen, daß diese Annahme irrig war.

Bei der Reduktion des Rowlandschen Systems auf das internationale System zeigte es sich ferner, daß die Reduktionsfaktoren keineswegs einen systematischen Gang aufwiesen. Es wechselte vielmehr die Größe dieser Faktoren ganz unregelmäßig von Linie zu Linie, da einzelne Linien große individuelle Fehler besaßen. Eine Ausgleichung dieser Fehler suchte eine Arbeit Kaysers[21]) herbeizuführen. Weitere Mängel im Rowlandschen System deckten Fabry und Perot[22]) auf, indem sie periodische Schwankungen bis $\pm$ 0,02 A. nachwiesen. Es ist deshalb gar nicht zu verwundern, daß spätere Beobachter im Anschluß an die Rowlandschen Normalen Schwankungen in den Hundertsteln erhielten, wenn auch die Art des Ausmessens ihnen eine Genauigkeit von einigen Tausendsteln einer Angströmeinheit sicherte. Die Messungen von Kochen sind an Kaysers verbesserte Werte der Rowlandschen Normalen angeschlossen. Die erreichte Genauigkeit beträgt angeblich 0,005 A.

Die auf das internationale System umgerechneten Werte dürften jedoch kaum eine größere Genauigkeit wie 0,02 A.[23]) besitzen. Die noch übrigen Messungen im Rowlandschen System geben ebenfalls die Hundertstel nicht genau.

Die ersten Bestimmungen im Anschluß an das internationale System führte Kayser aus. Bei seinen Berechnungen fiel ihm auf, daß eine Bestimmung der Wellenlänge auf derselben Platte von verschiedenen sekundären Normalen aus nur Unterschiede in den Tausendsteln ergab, die Differenzen dagegen stiegen, wenn er eine Bestimmung auf verschiedenen Platten vornahm.

Auch die Messungen von Papenfus geben die Hundertstel nicht genau. Derselbe macht jedoch darauf aufmerksam, daß die Meßbarkeit einzelner Linien von der benutzten Stelle des Bogens und der Art des Brennens abhängig sein könne.[24]) Die Untersuchungen Goos' rechtfertigten diese Vermutung. Derselbe wies zuvor durch seine Untersuchungen das Vorhandensein großer Differenzen in der Bestimmung tertiärer Normalen durch verschiedene Beobachter nach. Um die Ursache dieser Unterschiede ausfindig zu machen, nahm er mit einem Fabry-Perot-Interferometer eine Prüfung der tertiären Normalen auf ihre Interferenzfähigkeit vor. Hierbei fand er, daß die Interferenzen wesentlich besser wurden, wenn er anstatt des 3 mm Flammenbogens einen solchen von 10 mm Länge verwandte und von diesem wieder den mittleren Teil benutzte.[25]) Es zeigte sich also ein wesentlicher Einfluß der Bogenlänge und des Ortes in der Bogenflamme auf die Linie. Außerdem bestimmte er mit dem Interferometer die Wellenlängen einer Anzahl Linien mit 10 mm Flammenbogen. Da die entsprechende Aufnahme mit 3 mm Flammenbogen nicht meßbar war, standen ihm zum Vergleich nur frühere Plangittermessungen zur Verfügung, die er mit einem ungefähr so langen Bogen angefertigt hatte. Ein Vergleich zeigte ihm eine starke Verschiebung der Linien 5365, 5410, 5415, 5424[26]) nach Rot. Ob dieses auf einer Veränderung der Wellenlänge oder der Struktur der Linie beruht, diese Frage läßt Goos offen. Eine weitere Bestätigung eines Einflusses der Bogenlänge lieferte ihm eine Aufnahme mit Kaysers großem Konkavgitter in Bonn.[27]) Auf derselben Platte wurde einmal mit 3—4 mm, dann mit 8—9 mm Bogenlänge die Gegend um 5600 herum aufgenommen, jedoch wiederum mit der Vorsicht, daß nur der mittlere Teil des Bogens benutzt wurde. Sicher erwiesen wurde ein Einfluß auf die Linien 5555, 5566, 5598.

Die Untersuchungen dürften zur Genüge beweisen, daß es ein Fehler der früheren Beobachter war, keine näheren Angaben über die benutzte Lichtquelle zu machen. Es findet sich wohl in den Satzungen der Solar Union die Bestimmung, daß der Bogen mit einer Stromstärke 5—10 A.[26]) brennen soll. Aber diese Bestimmung ist durchaus unzureichend, wie Goos zeigte. Falls wir die Lichtquelle aber noch genauer definieren wollen, begegnen wir Schwierigkeiten, indem sich zeigt, daß ein Bogen von bestimmter Länge nicht gleich geeignet für alle Spektralbereiche ist. Für den gelb-roten Teil des Spektrums ist ein kurzer Bogen angebracht, da in diesem Bereiche die Intensität stark mit der Länge abnimmt. Im violetten Teil dagegen ist wegen der vielen Umkehrungen am negativen Pole die Benutzung eines langen Bogens zu empfehlen.

Von einer anderen Seite greifen St. John und Ware die Frage an. Sie stellen sich die Aufgabe, die sekundären Normalen einer Prüfung ihrer inneren Genauigkeit zu unterziehen und eine Bestimmung tertiärer Normalen der Gegend 5371—6495 vorzunehmen. Zur Durchführung der Untersuchungen bedienten sie sich eines Michelsonschen Plangitters in Verbindung mit dem 9 m Vertikalspektrographen von Mt. Wilson und eines zweiten Plangitters von Michelson in Verbindung mit dem 9 m Spektrographen von Pasadena. Von den sekundären Normalen bezeichnen sie eine als nicht brauchbar, während die Richtigkeit der übrigen bis auf 0,001 I. A. bestätigt wird. Weiterhin finden sie in diesem Bezirk nur 25 Eisenlinien als Normalen dritter Ordnung brauchbar.[29]) Ein Vergleich, der in Mt. Wilson (1800 m ü. M.) und Pasadena nahe an der Küste gemessenen Linien ergibt ihnen Unterschiede in den Wellenlinien, die sie der Änderung des Luftdruckes zuschreiben. Die von Gale und Adams gegebene Verschiebung der Linien ist in guter Übereinstimmung mit dem aus dem Luftdruckunterschied berechneten Wert derselben, was wohl als ein Beweis für die Richtigkeit der Annahme gelten kann. Diese Arbeit beweist die Notwendigkeit, bei einer Auswahl tertiärer Normalen den Umstand zu berücksichtigen, daß ein Unterschied in dem Luftdruck, wie er zwischen den auf Meeresspiegelhöhe und dem hochgelegenen Observatorium vorkommt, die Wellenlängen der Spektrallinien relativ zueinander um meßbare Beträge ändert.

Der Vollständigkeit wegen habe ich noch die Arbeit Geigers angeführt. Nach seinen eigenen Angaben hat zwar der Verfasser

die Hundertstel nicht genau gewonnen, so daß man seine Bestimmungen bei der Aufstellung eines Normalensystems wohl nicht in Betracht ziehen kann. Interessant ist jedoch die Versuchsanordnung. Anstatt der Linsen verwandte Geiger einen Hohlspiegel, so daß ihm ein vollständig glasfreier Gitterspektograph zur Verfügung stand.

Erwähnen möchte ich endlich noch die Arbeit Burns', da dieselbe die ausführlichste aller bisherigen Messungsreihen ist. Burns benutzte zur Herstellung der Spektralaufnahmen ein Rowlandsches Konkavgitter des Bonner physikalischen Instituts. Erfreulicherweise gibt er eine genaue Definition der benutzten Lichtquelle.

Die Untersuchungen der neueren Zeit lehren also übereinstimmend, daß die Beschlüsse der Solar Union, um zu praktisch brauchbaren Normalen zu führen, noch einer Ergänzung bedürfen. Es genügt nicht, daß die Linien des Eisenspektrums nach ihrem Aussehen sortiert werden, vielmehr müssen auch hinsichtlich des Eisenbogens und der Stelle, die man zur Emission benutzt, bestimmte Vereinbarungen getroffen werden. Wie genau die Grenzen der so festzulegenden Bedingungen einzuhalten sind, läßt sich zur Zeit noch nicht sagen und bedarf erst der Ermittelung durch weitere Messungen. Es scheint jedoch, daß es unter der genannten Voraussetzung möglich ist, brauchbare tertiäre Normalen zu messen. Ob dabei das Plangitter oder ein Konkavgitter benutzt wird, erscheint nebensächlich. Beide Instrumente haben ihre speziellen Vorzüge, wie hier nicht weiter auseinander zu setzen ist. Je nach dem Spektralbezirke wird man den Wert der beiden Arten von Instrumenten gleichfalls verschieden beurteilen. Auf jeden Fall liegt jedoch kein Grund zu der Annahme vor, daß es besser sein würde, bei der Bestimmung der tertiären Normalen überhaupt auf die Benutzung von Gittern zu verzichten und sich auf die Verwendung von Interferenzapparaten zu beschränken, bei denen Linien mit variabler Wellenlänge im Bogen automatisch eliminiert werden. Denn man wird auf die Benutzung von Gittern bei spektroskopischen Messungen nicht verzichten können und daher auch die Normalen zweckmäßigerweise so bestimmen, wie man sie nachher bei praktischen Messungen braucht. Ebensowenig liegt Veranlassung vor, von dem Eisenbogen abzugehen. Bei genügender Vorsicht dürften sich in seinem Spektrum immerhin Normalen in genügender Anzahl und Schärfe auffinden lassen, um allen Anforderungen der astronomischen und physikalischen Meßpraxis zu genügen. Die Auf-

gabe der nächsten Konferenz der Solar Union wird es sein, Vereinbarungen für weitere Messungen zu treffen. Auf alle Fälle erscheint es nützlich, wenn die Messungen tertiärer Normalen von möglichst vielen Beobachtern und mit möglichst vielen Instrumenten fortgesetzt werden, vorausgesetzt, daß jeder Beobachter genau definierte und reproduzierbare Meßbedingungen einhält. Denn wie schon die Mittelwerte der Wellenlängen in dem Kayserschen Kataloge zeigen, dürfte nur auf dem genannten Wege ein zuverlässiger von allen Apparatfehlern freier Wert für die einzelnen Wellenlängen erreicht werden.

## Besprechung der Apparate und der Versuchsbedingungen.

Ich habe es daher unternommen, gleichfalls einen Teil des Eisenbogens im Anschluß an die internationalen Normalen zweiter Ordnung zu bestimmen.

Da bis jetzt für die Gegend $\lambda$ 2987—4118 nur Bestimmungen im Rowlandschen System vorlagen, war es durchaus wünschenswert, eine Ausmessung im Anschluß an die sekundären Normalen durchzuführen. Zu meinen Untersuchungen benutzte ich ein Konkavgitter, da dasselbe für diesen Bezirk des Spektrums das einzige brauchbare Instrument sein dürfte. Zuvor möchte ich jedoch nähere Angaben über die benutzte Lichtquelle machen.

Den leuchtenden Eisendampf erzeugte ich mir durch den galvanischen Lichtbogen zwischen zwei Eisenstäben von ungefähr 1 cm Durchmesser. Um ein ruhiges Brennen des Bogens zu erzielen, verwandte ich das Verfahren von Pfund[30]), indem ich einen Tropfen geschmolzenen Eisenoxyds auf der Anode sich ansammeln ließ und den Bogen zwischen diesem und dem anderen Stabe brennen ließ. Die Bogenlampe stand in einem mit Asbest ausgekleideten Kasten, aus dem durch eine runde Öffnung von 3—4 cm das Licht austrat. Ich entwarf dann mit einer Linse ein vergrößertes Bild des Bogens auf den Spalt und achtete darauf, daß das Gitter immer voll beleuchtet war. Durch Blenden von schwarzem Papier vor dem Spalt richtete ich es derart ein, daß nur der mittlere Teil des Bogens von 3—4 mm Höhe zur Wirkung kam. Wenn auch nach den Vermutungen von Goos[31]) im kurzwelligen Teile des Spektrums nicht ein solcher Einfluß der Bogenlänge auf die Linie vorhanden ist, wie im langwelligen Teile, so habe ich doch stets zu den Aufnahmen

einen Bogen von 10—12 mm Länge benutzt. Ferner betrieb ich den Bogen mit einer Spannung von 220 Volt und einer Stromstärke von 7 Amp., da derselbe unter diesen Bedingungen am ruhigsten brannte. Genau dieselben Bedingungen in bezug auf den Eisenbogen hielt Burns inne. Er verwandte nur eine geringere Spannung.

Der Luftdruck, unter welchem die endgültigen Aufnahmen hergestellt wurden, betrug für den größten Teil derselben 749 mm Quecksilber. Einige Platten waren jedoch bei einem Druck von 781 mm Quecksilber aufgenommen.

Zur Anfertigung der Spektralaufnahmen stand mir ein Konkavgitter von ungefähr 4 m Krümmungsradius zur Verfügung. Dasselbe wies eine geteilte Fläche von 11,5 cm Länge und 4,3 cm Höhe mit 10000 Strichen pro inch auf. Es ist im Besitze der John Hopkins University in Baltimore und von Herrn Prof. J. S. Ames in entgegenkommender Weise an Herrn Prof. Konen für mehrere Jahre geliehen worden. Ich möchte nicht versäumen, an dieser Stelle Herrn Prof. J. S. Ames gleichfalls herzlich zu danken.

Der Spalt, welcher Iridiumbacken besitzt, ist von der Firma Toepfer & Sohn in Potsdam geliefert. In der Regel benutzte ich eine Spaltbreite von 0,03 mm. Die Kassette ist von dem Mechaniker des hiesigen Instituts angefertigt. In derselben werden die photographischen Platten durch Messingbügel festgehalten. Die erforderliche Krümmung erhielten die Platten folgendermaßen. In die Bügel waren Schrauben eingelassen, welche auf Metallplatten drückten. Zwischen die letzteren und die photographischen Platten wurde ein Korkstreif geschoben und durch Anziehen der Schrauben die Platte auf die nötige Krümmung gepreßt. Zu den Aufnahmen gebrauchte ich gewöhnliche Schleußnerplatten der Größe 5 × 20 cm. Entwickelt wurden dieselben mit dem Methol-Hydrochinonentwickler.

Eine vollkommene Aufstellung des Gitters, in der Art der Kruppschen Gitteraufstellung, die Herr Prof. Konen[32]) früher beschrieben hat, steht hier nicht zur Verfügung, desgleichen kein ausreichender Raum. Es muß daher mit einer improvisierten Aufstellung gearbeitet werden. Das Gitter ist relativ stabil auf einem gemauerten Wandsockel aufgestellt, und zwar in einem Gitterträger, der exakte Bewegungen des Gitters um drei zueinander senkrechte Achsen gestattet. Der Spalt und die Kamera sind dagegen auf Steinpfeilern aufgestellt, die auf dem mit Platten belegten Beton-

fußboden der ersten Etage stehen. Infolgedessen besteht keine starre Verbindung der verschiedenen Teile der Aufstellung. Spalt und Kamera sind vielmehr den Erschütterungen ausgesetzt, die das Gebäude treffen. Außerdem ist der Raum, in dem gleichzeitig mehrere andere Spektrographen stehen, so beengt, daß bei Benutzung der ersten und zweiten Ordnung in dem oben angegebenen Wellenlängenbereiche es nicht möglich ist, die Lichtquelle in die Verlängerung der Geraden Gittermitte—Spalt zu bringen. Sie muß vielmehr seitlich aufgestellt werden. Ich benutzte dann einen Nickelspiegel, um das Licht auf den Spalt zu reflektieren.

Einen weiteren Nachteil bietet dieser Aufbau dadurch, daß bei Benutzung der verschiedenen Ordnungen der Pfeiler mit dem Spalte jedesmal verschoben und neu eingestellt werden muß. Der mit schwarzem Filztuch überzogene Umbau, wie ihn Papenfus zum Lichtschutze verwandte, erwies sich jedoch als entbehrlich, da die Wände des Zimmers schwarz gestrichen waren und sich infolgedessen kein falsches Licht mehr auf der Platte zeigte. Die Mängel einer derartigen Improvisation würden sich sicher bei Aufnahmen von mehrstündiger Dauer bemerkbar machen. Die höchsten von mir benutzten Belichtungszeiten waren jedoch nur 7 Minuten. Zufolge der unstabilen Aufstellung gebrauchte ich die Vorsicht, vor Herstellung der endgültigen Aufnahmen erst einige Probeaufnahmen anzufertigen, so daß ich Fehler infolge mangelhafter Justierung ausgeschlossen zu haben glaube. Die Justierung des Gitters wurde in der üblichen Weise vorgenommen.

Ich nahm zuerst die erste Ordnung vor, in welcher ungefähr 6 I. A. auf 1 mm kamen. Es zeigte sich aber, daß die mittleren Fehler der einzelnen Linien recht erhebliche waren. Da nun wohl anzunehmen war, daß die geringe Dispersion wesentlich zur Vermehrung der Fehler beitrug, ging ich zur zweiten Ordnung über. Um in der letzteren den kurzwelligen Teil der dritten Ordnung abzublenden, erwies sich die Anwendung eines Lichtfilters als unnötig. Unterhalb $\lambda$ 3500 waren die benutzten Belichtungszeiten zu gering, um die Linien der dritten Ordnung gut erscheinen zu lassen. Um für die Gegend oberhalb $\lambda$ 3500 den störenden Einfluß der dritten Ordnung zu vermeiden, reichte es vollkommen aus, die Quarzlinse, welche ein Bild des Bogens auf den Spalt entwarf, mit einer Glaslinse zu vertauschen.

Für dieselbe Gegend benutzte ich längere und kürzere Expo-

sitionszeiten. Die Belichtungszeiten betrugen für die Gegend λ 2987 bis 3300 4—7 Minuten, für die Gegend λ 3300—3700 3—5 Minuten und für die Gegend λ 3700—4118 $2^1/_2$—$3^1/_4$ Minute. Auf den länger exponierten Platten bestimmte ich die Linien schwacher Intensität. Die Linien stärkerer Intensität bestimmte ich dagegen auf den kurz exponierten Platten.

Zur Ausmessung der Platten benutzte ich eine Meßmaschine, welche nach den Angaben von Herrn Prof. Konen von dem Mechaniker Heele in Berlin erbaut und aus den Mitteln der Hittorf-Stiftung für das hiesige Institut beschafft war. Die Maschine ist von Papenfus, Huppers[33]) u. a. zu Ausmessungen benutzt worden und hat sich als durchaus brauchbar erwiesen.

## Die Messungen.

In der Gegend λ 2987—4118 konnte ich die tertiären Normalen nur im Anschluß an die sekundären Normalen von Fabry und Buisson bestimmen, da bis jetzt leider keine weiteren Messungen von Normalen zweiter Ordnung für diesen Bezirk vorhanden waren. Die Interpolation zwischen den sekundären Normalen führte ich derart aus, daß zwischen zweien derselben eine weitere lag. Ich interpolierte also über ein Bereich von ungefähr 100 I.A. Der für die mittlere sekundäre Normale ermittelte Wert ergibt mir dann ein Maß für die Abweichung von einem normalen Spektrum. Aus den erhaltenen Werten läßt sich eine Korrektionskurve konstruieren. Um aber zu verhindern, daß die individuellen Fehler der sekundären Normalen in die Berechnungen eingingen, führte ich die nächste Interpolation von der mittleren Normale zweiter Ordnung über die frühere Endnormale zur nächstfolgenden aus. Die lineare Interpolation ergab mir für die sekundären Normalen nur geringe Abweichungen in den Tausendsteln gegen die durch Interferenzmessung gefundenen Werte. Ich hätte die Abweichungen durch Hinzufügen von Korrektionsgliedern höherer Ordnung in die Interpolationsgleichung beheben können. Da dieselben aber nur wenige Tausendstel betrugen, zog ich das graphische Verfahren vor. Nach dem Vorgange von Papenfus benutzte ich als Ausgleichskurve eine Parabel mit vertikaler Achse. Die zur Konstruktion derselben nötigen Stücke waren durch die gegebenen Werte vollständig be-

stimmt. Dieser Kurve entnahm ich dann die an den Wellenlängen anzubringenden Korrektionen.

Die Ausmessung der Platten nahm ich in der Weise vor, daß ich mit einfachem Faden auf den Teil der Linie einstellte, welcher nach meiner Ansicht das Maximum der Schwärzung aufwies. Wie ich fand, verbesserte die Benutzung des Druckapparates die Messungen wesentlich. Auf jede Linie wurde viermal eingestellt. Je einmal führte ich die Einstellung aus mit größeren Wellenlängen rechts auf einem Hin- und Hergang der Schraube. Dann wurde die Platte um $180^0$ gedreht und dasselbe Verfahren mit größeren Wellenlängen links wiederholt. Außerdem wurde die Ausmessung in derartigen Stücken vorgenommen, daß zwischen zwei sekundären Normalen eine weitere lag. Die folgende Messung nahm diese mittlere Normale als Ausgangslinie und reichte über die frühere Endnormale hinweg bis zur nächstfolgenden. Auf diese Weise wurden die Stücke zwischen zwei sekundären Normalen auf jeder Platte achtmal ausgemessen und berechnet. Aus sämtlichen derart erhaltenen Werten bildete ich die Mittel und stellte diese als tertiäre Normalen brauchbar hin, wenn der mittlere Fehler der Linie nicht größer als 0,003 I.A. war. Eine große Erleichterung in der Berechnung wurde mir durch das Entgegenkommen der Triumphatorwerke zu Leipzig verschafft. Dieselbe stellte mir durch Vermittelung der Firma Daltrop zu Gütersloh eine Multiplikationsmaschine, Marke „Triumphator", zur Verfügung. Den betreffenden Firmen danke ich für diese Freundlichkeit herzlich.

Ich hatte zuerst einige Aufnahmen in der ersten Ordnung angefertigt. Zum Ausmessen suchte ich mir drei Platten aus, auf welchen die Linien eine sehr schöne Definition besaßen. In der eben angegebenen Weise nahm ich die Ausmessung der Gegend $\lambda$ 3445—3513 auf den drei Platten vor.

In Tabelle 1 stehen in den drei ersten Spalten die Wellenlängen, wie ich sie durch Interpolation erhielt, in der vierten Spalte die Mittel derselben und in der fünften Spalte die mittleren Fehler der Linien. Die Erfolge sind durchaus nicht zufriedenstellend. Nur die Hälfte der Linien weisen einen mittleren Fehler innerhalb der festgelegten Grenze auf. Da außerdem die Aufnahmen in der Mitte der Kassette, also in unmittelbarer Nähe der Hauptnormalen angefertigt waren, glaube ich, daß genug dagegen sprach, noch länger bei der ersten Ordnung zu verweilen.

Ich stellte deshalb auf die zweite Ordnung ein und wählte wieder die drei besten Aufnahmen zu Probemessungen aus.

Tabelle 1.

| I | II | III | λ | Δ |
|---|---|---|---|---|
| 3450,339 | ,344 | ,337 | 3450,340 | ±0,002 |
| 52,270 | ,281 | ,275 | 52,275 | 3 |
| 65,867 | ,880 | ,860 | 65,869 | 5 |
| 75,459 | ,458 | ,444 | 75,454 | 5 |
| 76,704 | ,700 | ,708 | 76,704 | 2 |
| 90,587 | ,588 | ,576 | 90,584 | 4 |
| 97,130 | ,130 | ,113 | 97,124 | 6 |
| 97,854 | ,848 | ,844 | 97,849 | 3 |

Die Anordnung in Tabelle 2 ist dieselbe wie in Tabelle 1. Es zeigt sich, daß die mittleren Fehler der Linien wesentlich geringer geworden sind gegen die Fehler in der ersten Ordnung. Unter den dreizehn gemessenen Linien sind nur vier, deren Fehler 0,003 I.A.

Tabelle 2.

| I | II | III | λ | Δ |
|---|---|---|---|---|
| 3031,228 | ,225 | ,218 | 3031,223 | ±0,003 |
| 31,642 | ,643 | ,637 | 31,641 | 2 |
| 31,866 | ,866 | ,868 | 31,866 | 1 |
| 37.386 | ,387 | ,383 | 37,385 | 1 |
| 37,934 | ,942 | ,935 | 37,937 | 3 |
| 40,430 | ,429 | ,430 | 40,430 | 0,4 |
| 42,035 | ,023 | ,027 | 42,028 | 3,4 |
| 42,682 | ,673 | ,679 | 42,678 | 2 |
| 47,623 | ,611 | ,613 | 47,616 | 4 |
| 54,319 | ,311 | ,323 | 54,318 | 4 |
| 55,274 | ,271 | ,272 | 55,272 | 1 |
| 59,087 | ,086 | ,090 | 59,088 | 1 |
| 68,179 | ,174 | ,186 | 68,180 | 4 |

übersteigt, trotzdem die Definition der Linien längst nicht so scharf war, wie in der ersten Ordnung. Von der Untersuchung einer höheren Ordnung stand ich jedoch ab. Es wären die Belichtungszeiten außerordentlich gewachsen. Infolgedessen wären störende

Einflüsse wegen der unstabilen Aufstellung zu befürchten gewesen. Ich fertigte deshalb die Aufnahmen, welche zur Bestimmung tertiärer Normalen dienen sollten, in der zweiten Ordnung an. Unter den vielen Aufnahmen befanden sich einige gute. Ausgemessen wurden im ganzen 18 Platten, von denen jede einen Bereich von ungefähr 600 I.A. umfaßte.

Für die Normale zweiter Ordnung 4076 fand ich einen mittleren Fehler 0,003 I.A. und eine Abweichung von 0,006 I.A. gegen den durch Interferenzmessung gefundenen Wert. Diese Linie zeigte jedoch auf allen Platten nach rot und nach violett verwaschene Ränder, so daß sehr schwer hierauf einzustellen war. Weiterhin fand ich für die Normale 3556 einen mittleren Fehler von 0,003 I.A. und eine Abweichung von 0,003 I.A. Dicht neben dieser Linie war aber nach kleineren Wellenlängen hin eine Linie schwacher Intensität vorhanden, welche die Einstellung erschwerte. Ferner ergab mir die Berechnung für die Linie 3513 eine Differenz von 0,006 I.A. gegen die Interferometermessung. Diese Abweichung kann ich mir aber nicht erklären, da die verschiedenen Bestimmungen für diese Linie einen mittleren Fehler von 0,001 I.A. lieferten. Die Darstellung der übrigen sekundären Normalen war jedoch befriedigend.

Die Bestimmung der tertiären Normalen nahm ich in der S. 17 angegebenen Weise vor. Ich habe in den nachstehenden Tabellen eine Einteilung derselben nach der Fehlergröße getroffen. Tabelle 3 enthält die Linien, für welche der mittlere Fehler bis 0,001 I.A. beträgt, Tabelle 4 die Linien mit dem Fehler 0,0011 bis 0,0015 I.A. In Tabelle 5 habe ich die Linien mit dem Fehler 0,0016 bis 0,002 I.A. zusammengestellt, in Tabelle 6 die Linien mit dem Fehler 0,0021 bis 0,0025 I.A., in Tabelle 7 die Linien mit dem mittleren Fehler 0,0026 bis 0,003 I.A. Alle weiteren Linien, für welche ich einen mittleren Fehler größer als 0,003 I.A. fand, habe ich in Tabelle 8 zusammengefaßt.

## Tabelle 3.

| | λ | I | Δ | n | K | λ − K | $I_K$ | E. u. H. | Δλ | $I_F$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3083,749 | 7 | ± 0,001 | 4 | ,73 | + 0,02 | 6 | ,75 | − 0,001 | 3 | |
| | 92,738 | 2 | 05 | 2 | — | — | — | ,75 | − 0,01 | 1 | |
| | 93,817 | 3 | 05 | 2 | ,81 | + 0,007 | 2 | — | — | — | |
| | 3101,010 | 2 | 09 | 3 | ,00 | + 0,01 | 1 | — | — | — | |
| | 1,557 | 3 | 1 | 2 | — | — | — | — | — | — | Ni |
| | 26,173 | 2 | 07 | 3 | ,17 | + 0,003 | 4 | — | — | — | |
| | 65,868 | 3u | 1 | 3 | ,86 | + 0,008 | 4 | ,92 | − 0,05 | 1u | |
| | 2228,261 | 5 | 1 | 4 | ,24 | + 0,02 | 3 | ,22 | + 0,04 | 1 | |
| | 36,229 | 4 | 09 | 4 | ,22 | + 0,009 | 3 | ,20 | + 0,03 | 1 | |
| | 53,614 | 2 | 04 | 2 | ,59 | + 0,02 | 2 | ,56 | + 0,05 | 1u | |
| | 3335,771 | 1 | 08 | 4 | ,76 | + 0,01 | 3 | ,82 | − 0,05 | 1u | |
| | 47,932 | 3 | 08 | 4 | ,93 | + 0,002 | 4 | ,93 | + 0,002 | 1 | |
| | 51,541 | 1u | 07 | 1 | ,52 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 51,754 | 3 | 09 | 3 | ,75 | + 0,004 | 3 | — | — | — | |
| | 69,559 | 3 | 1 | 4 | ,56 | − 0,001 | 1 | ,55 | + 0,009 | 2 | Ni, Fe |
| | 97,650 | 1 | 09 | 3 | ,63 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 3422,680 | 4 | 1 | 4 | ,65 | + 0,03 | 3 | ,66 | + 0,02 | 2 | |
| | 58,314 | 4 | 09 | 4 | ,29 | + 0,02 | 3 | ,30 | + 0,01 | 1 | |
| | 66,504 | 2 | 1 | 4 | ,48 | + 0,02 | 3 | — | — | — | |
| | 77,857 | 2 | 07 | 4 | ,84 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 93,290 | 1 | 08 | 3 | ,29 | 0,000 | 1 | ,34 | − 0,05 | 2 | |
| | 93,696 | 1 | 09 | 2 | ,69 | + 0,006 | 2 | — | — | — | |
| R | 97,848 | 5 | 1 | 4 | ,83 | + 0,02 | 4 | ,84 | + 0,008 | 3 | Ni |
| | 3510,342 | 2 | 1 | 2 | — | — | — | — | — | — | |
| | 12,220 | 2 | 06 | 1 | ,21 | + 0,01 | 1 | — | — | — | |
| | 34,907 | 3 | 1 | 1 | ,90 | + 0,007 | 1 | — | — | — | |
| | 37,490 | 4 | 09 | 5 | ,49 | 0,000 | 2 | — | — | — | |
| | 37,726 | 1 | 09 | 5 | — | — | — | ,70 | + 0,03 | 1 | |
| | 41,084 | 5 | 1 | 5 | ,09 | − 0,006 | 4 | — | — | — | |
| | 43,671 | 1 | 08 | 3 | ,66 | + 0,01 | 2 | ,65 | + 0,02 | 1 | |
| | 58,518 | 7 | 09 | 3 | ,52 | − 0,002 | 5 | ,54 | − 0,02 | 4 | |
| | 59,495 | 2 | 09 | 3 | ,50 | − 0,005 | 2 | ,50 | − 0,005 | 1 | |
| | 68,828 | 1 | 05 | 1 | ,81 | + 0,02 | 1 | — | — | — | |
| R | 70,102 | 8 | 08 | 2 | ,12 | − 0,02 | 6 | ,14 | − 0,04 | 10 | |
| | 75,116 | 2 | 1 | 2 | ,11 | + 0,006 | 1 | — | — | — | |
| | 83,324 | 2 | 07 | 2 | ,33 | − 0,006 | 2 | ,32 | + 0,004 | 1u | |
| | 93,488 | 5 | 1 | 4 | — | — | — | — | — | — | Fe, Cr |
| | 3637,258 | 2 | 1 | 3 | ,24 | + 0,02 | 1 | — | — | — | |
| | 51,466 | 5 | 09 | 5 | ,46 | + 0,006 | 4 | ,46 | + 0,006 | 3 | |
| | 3711,399 | 2 | 1 | 3 | ,40 | − 0,001 | 1 | — | — | — | |
| | 35,325 | 1 | 1 | 5 | ,31 | + 0,02 | 4 | ,31 | + 0,01 | 1u | |
| | 45,905 | 5 | 1 | 5 | ,91 | − 0,005 | 4 | ,89 | + 0,02 | 4 | |
| | 46,931 | 2 | 09 | 6 | ,92 | + 0,01 | 3 | ,89 | + 0,04 | 1 | |
| R | 48,263 | 6 | 09 | 6 | ,25 | + 0,01 | 4 | ,25 | + 0,01 | 4 | |
| | 56,077 | 2 | 1 | 6 | ,05 | + 0,03 | 1 | — | — | — | |
| | 60,051 | 2 | 1 | 6 | ,04 | + 0,01 | 3 | ,04 | + 0,01 | 2 | |
| | 97,518 | 3 | 1 | 6 | ,51 | + 0,008 | 4 | ,50 | + 0,02 | 3 | |
| | 3806,703 | 3 | 06 | 6 | ,70 | + 0,003 | 1 | ,67 | + 0,03 | 3 | |
| R | 24,080 | 3 | 08 | 3 | ,80 | 0,000 | 1 | ,10 | − 0,02 | 1u | |
| | 36,336 | 3 | 1 | 6 | ,32 | + 0,02 | 4 | ,32 | + 0,02 | 1 | |
| | 49,972 | 7 | 06 | 5 | ,99 | − 0,02 | 5 | 50,04 | − 0,07 | 4 | |
| | 63,734 | 2 | 1 | 4 | ,76 | − 0,03 | 3 | ,81 | − 0,08 | 1 | |
| R | 99,707 | 6 | 1 | 5 | ,70 | + 0,007 | 4 | ,71 | − 0,003 | 4 | |
| | 3916,736 | 3 | 07 | 5 | ,71 | + 0,03 | 4 | ,71 | + 0,03 | 2 | |
| R | 18,370 | 4 | 1 | 5 | ,40 | − 0,03 | 3 | ,40 | − 0,03 | 1 | |

Tabelle 3 (Fortsetzung).

| λ | I | Δ | n | K | λ − K | $I_K$ | E.u.H. | Δλ | $I_F$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3927,918 | 2 | ±0,001 | 5 | ,94 | − 0,02 | 4 | ,94 | − 0,02 | 4 |
| 40,887 | 3 | 1 | 5 | ,88 | + 0,007 | 4 | ,89 | − 0,003 | 1 |
| 67,981 | 2 | 07 | 2 | ,96 | + 0,02 | 2 | 68,01 | − 0,03 | 1u |
| 4007,276 | 4 | 1 | 4 | ,27 | + 0,006 | 3 | ,30 | − 0,02 | 1 |
| 17,150 | 2 | 09 | 5 | ,14 | + 0,01 | 3 | ,11 | + 0,04 | 1 |
| 95,977 | 2 | 09 | 4 | ,98 | − 0,003 | 3 | 96,00 | − 0,02 | 1 |
| 4114,452 | 3 | 09 | 5 | ,45 | + 0,002 | 4 | ,45 | + 0,002 | 1 |

## Tabelle 4.

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 2994,434 | 7 | ±0,0015 | 5 | ,43 | + 0,004 | 6 | ,46 | − 0,03 | 3 | |
| | 3031,215 | 5 | 14 | 5 | ,20 | + 0,02 | 4 | ,23 | − 0,02 | 2 | |
| R | 59,095 | 8 | 14 | 5 | ,08 | + 0,02 | 6 | ,08 | + 0,02 | 3 | |
| | 68,177 | 3 | 14 | 5 | ,16 | + 0,02 | 3 | ,16 | + 0,02 | 1 | |
| | 78,447 | 2 | 15 | 3 | ,43 | + 0,02 | 3 | ,43 | + 0,02 | 1u | |
| | 3100,312 | 5 | 11 | 4 | ,30 | + 0,01 | 4 | ,33 | − 0,02 | 3 | |
| | 0,665 | 6 | 15 | 4 | ,67 | − 0,005 | 5 | ,68 | − 0,02 | 3 | |
| | 16,634 | 5 | 12 | 5 | ,62 | + 0,01 | 5 | ,60 | + 0,03 | 1 | |
| | 19,496 | 3 | 12 | 4 | ,49 | + 0,006 | 4 | ,52 | − 0,02 | 1 | |
| | 20,441 | 4 | 12 | 3 | ,42 | + 0,02 | 3 | ,43 | + 0,01 | 1 | |
| | 56,282 | 2u | 11 | 2 | ,25 | + 0,03 | 3 | — | — | — | |
| | 78,014 | 4 | 12 | 4 | 7,99 | + 0,02 | 4 | ,00 | + 0,01 | 1 | |
| | 80,219 | 7 | 11 | 3 | ,21 | + 0,009 | 6 | ,21 | + 0,009 | 2u | |
| | 81,529 | 2 | 15 | 2 | ,52 | + 0,009 | 3 | ,55 | − 0,02 | 1u | |
| | 91,668 | 2 | 14 | 3 | ,65 | + 0,02 | 4 | ,69 | − 0,002 | 1 | |
| | 96,938 | 5 | 11 | 4 | ,95 | − 0,01 | 3 | ,97 | − 0,03 | 2 | |
| | 3219,587 | 7 | 13 | 4 | ,58 | + 0,007 | 5 | ,57 | + 0,02 | 2 | |
| | 19,829 | 3 | 12 | 3 | ,79 | + 0,04 | 5 | ,80 | + 0,03 | 2 | |
| | 27,797 | 4 | 15 | 3 | ,80 | − 0,003 | 2 | ,78 | + 0,02 | 5 | |
| | 30,972 | 4 | 11 | 3 | ,97 | + 0,002 | 4 | ,97 | + 0,002 | 1 | |
| | 33,061 | 3 | 13 | 3 | ,04 | + 0,02 | 3 | ,07 | − 0,009 | 2 | |
| | 47,544 | 4 | 14 | 3 | — | — | — | — | — | — | Cu |
| | 65,623 | 6 | 13 | 3 | ,62 | + 0,003 | 5 | ,61 | + 0,01 | 2 | |
| | 80,262 | 4 | 15 | 4 | ,25 | + 0,01 | 5 | ,29 | − 0,03 | 1 | |
| | 84,597 | 2 | 14 | 3 | ,59 | + 0,007 | 3 | ,59 | + 0,007 | 1 | |
| | 92,596 | 5 | 15 | 4 | ,59 | + 0,006 | 5 | ,59 | + 0,006 | 1 | |
| | 3305,971 | 8 | 12 | 4 | ,97 | + 0,001 | 6 | 6,00 | − 0,03 | 3 | |
| | 14,748 | 5 | 13 | 3 | ,74 | + 0,008 | 5 | ,76 | − 0,01 | 1 | |
| | 24,546 | 3 | 15 | 4 | ,53 | + 0,02 | 3 | ,53 | + 0,02 | 1u | |
| | 25,475 | 2 | 12 | 4 | ,46 | + 0,02 | 3 | ,49 | − 0,02 | 1u | |
| | 28,869 | 5 | 11 | 4 | ,86 | + 0,009 | 3 | ,86 | + 0,009 | 1 | |
| | 31,617 | 2 | 14 | 4 | ,60 | + 0,02 | 3 | — | — | — | |
| | 34,239 | 2u | 15 | 2 | ,21 | + 0,03 | 2 | — | — | — | |
| | 37,672 | 2 | 14 | 4 | ,65 | + 0,02 | 4 | ,66 | + 0,01 | 1 | |
| | 40,575 | 3 | 13 | 4 | ,56 | + 0,02 | 4 | ,58 | − 0,005 | 1 | |
| | 54,073 | 2 | 13 | 4 | ,06 | + 0,01 | — | — | — | — | |
| | 55,237 | 6 | 11 | 4 | ,22 | + 0,02 | 4 | ,23 | + 0,007 | 1 | |
| | 56,412 | 3 | 13 | 4 | — | — | — | — | — | — | |
| | 78,698 | 4u | 14 | 4 | ,68 | + 0,02 | 4 | ,66 | + 0,04 | 1 | |
| | 82,421 | 2 | 14 | 4 | ,41 | + 0,01 | 3 | — | — | — | |
| | 83,709 | 3 | 12 | 4 | ,69 | + 0,02 | 3 | ,70 | + 0,009 | 1 | |
| | 83,990 | 6 | 11 | 4 | ,99 | 0,000 | 5 | ,99 | 0,000 | 1 | |
| | 87,421 | 2 | 15 | 4 | ,41 | + 0,01 | 3 | ,41 | + 0,01 | 1u | |

Tabelle 4 (Fortsetzung).

| | λ | I | Δ | n | K | λ−K | $I_K$ | E. u. H. | Δλ | $I_F$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3404,340 | 6 | ±0,0011 | 4 | ,34 | 0,000 | 6 | ,36 | − 0,02 | 2 | |
| | 6,461 | 3 | 11 | 3 | ,43 | + 0,03 | 2 | ,46 | + 0,001 | 1 | |
| | 7,479 | 8 | 11 | 4 | ,46 | + 0,02 | 6 | ,49 | − 0,01 | 4 | |
| | 15,549 | 3 | 12 | 4 | ,53 | + 0,02 | 4 | ,53 | + 0,02 | 1 | |
| | 19,713 | 1 | 12 | 2 | ,69 | + 0,02 | 3 | — | — | — | |
| | 26,385 | 5 | 13 | 4 | ,39 | − 0,005 | 3 | ,38 | + 0,005 | 1 | |
| | 26,653 | 4 | 12 | 4 | ,63 | + 0,02 | 3 | ,65 | + 0,003 | 1 | |
| | 27,143 | 4u | 14 | 4 | ,13 | + 0,01 | 5 | ,15 | − 0,007 | 4 | |
| R | 40,622 | 7 | 13 | 4 | ,62 | + 0,002 | 6 | ,65 | − 0,03 | 4 | |
| R | 41,001 | 6 | 13 | 4 | 40,99 | + 0,01 | 6 | ,02 | − 0,02 | 4 | |
| | 42,372 | 4 | 15 | 4 | ,36 | + 0,01 | 3 | ,34 | + 0,03 | 1 | |
| R | 43,889 | 8 | 11 | 4 | ,89 | − 0,001 | 6 | ,89 | − 0,001 | 3 | |
| | 47,288 | 5 | 13 | 4 | ,28 | + 0,008 | 4 | ,27 | + 0,02 | 1 | |
| | 50,338 | 5 | 12 | 4 | ,32 | + 0,02 | 4 | ,33 | + 0,008 | 1 | |
| | 51,633 | 1 | 14 | 4 | ,61 | + 0,02 | 1 | — | — | — | |
| | 51,924 | 6 | 13 | 4 | ,90 | + 0,02 | 4 | ,93 | − 0,006 | 1 | |
| | 53,035 | 2 | 15 | 3 | ,01 | + 0,03 | 3 | ,02 | + 0,02 | 1u | |
| | 66,899 | 1 | 11 | 4 | ,89 | + 0,009 | 2 | — | — | — | |
| | 69,838 | 3 | 11 | 4 | ,82 | + 0,02 | 3 | ,81 | + 0,03 | 01 | |
| | 74,045 | 2 | 12 | 2 | — | — | — | — | — | — | Mn. |
| | 74,441 | 2 | 11 | 4 | ,42 | + 0,02 | 2 | ,44 | + 0,001 | 1 | |
| R | 75,454 | 8 | 14 | 4 | ,44 | + 0,01 | 5 | ,46 | − 0,006 | 3 | |
| | 75,658 | 1 | 14 | 4 | ,64 | + 0,02 | 3 | — | — | — | |
| | 78,631 | 2 | 13 | 4 | ,61 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 95,290 | 2 | 12 | 5 | ,28 | + 0,01 | 3 | ,30 | − 0,01 | 1 | |
| | 97,116 | 5 | 14 | 5 | ,11 | + 0,006 | 4 | ,10 | + 0,02 | 2 | |
| | 3500,569 | 4 | 15 | 6 | ,56 | + 0,009 | 3 | ,55 | + 0,02 | 1 | |
| | 8,492 | 4 | 15 | 5 | ,48 | + 0,01 | 3 | ,47 | + 0,02 | 1 | |
| | 10,442 | 1 | 13 | 5 | ,44 | + 0,002 | 3 | ,42 | + 0,02 | 1u | |
| | 26,667 | 5 | 14 | 4 | ,66 | + 0,007 | 3 | ,65 | + 0,02 | 1u | |
| | 36,547 | 3 | 11 | 4 | ,55 | − 0,003 | 4 | ,53 | + 0,02 | 3u | |
| | 37,892 | 3u | 15 | 4 | ,89 | + 0,002 | 1 | ,85 | + 0,04 | 1 | |
| | 40,709 | 2 | 15 | 4 | ,71 | − 0,001 | 2 | ,71 | − 0,001 | 1 | |
| | 48,014 | 3 | 12 | 3 | ,01 | + 0,004 | 2 | ,00 | + 0,01 | 1u | Mn, Fe |
| | 49,866 | 1 | 13 | 3 | ,86 | + 0,006 | 2 | — | — | — | |
| | 53,739 | 5 | 15 | 4 | ,72 | +,0,02 | 3 | ,74 | − 0,001 | 2 | |
| | 54,119 | 5 | 15 | 4 | ,11 | + 0,009 | 3 | ,10 | + 0,02 | 1 | |
| | 60,695 | 2 | 12 | 2 | ,69 | + 0,005 | 2 | ,65 | + 0,04 | 1 | |
| | 85,710 | 2 | 13 | 4 | ,71 | 0,000 | 2 | ,69 | + 0,02 | 3 | |
| | 86,986 | 5 | 15 | 3 | ,97 | + 0,02 | 5 | ,96 | + 0,03 | 3 | |
| | 89,110 | 5 | 15 | 4 | ,10 | + 0,01 | 3 | ,08 | + 0,03 | 1 | |
| | 94,627 | 2 | 11 | 4 | ,62 | + 0,007 | 4 | ,62 | + 0,007 | 2 | |
| | 3603,208 | 2 | 12 | 3 | ,20 | + 0,008 | 3 | ,20 | + 0,008 | 3 | |
| | 8,155 | 1 | 14 | 3 | ,16 | − 0,005 | 1 | ,18 | − 0,03 | 1 | |
| R | 8,865 | 6 | 14 | 5 | ,85 | + 0,02 | 5 | ,86 | + 0,005 | 6 | |
| | 17,794 | 6 | 15 | 4 | ,78 | + 0,01 | 4 | ,78 | + 0,01 | 3 | |
| R | 18,768 | 7 | 14 | 5 | ,77 | − 0,002 | 5 | ,76 | + 0,008 | 6 | |
| | 22,007 | 3 | 15 | 5 | ,00 | + 0,007 | 4 | ,00 | + 0,007 | 3 | |
| | 23,189 | 2 | 13 | 5 | ,20 | − 0,01 | 4 | ,18 | + 0,009 | 2 | |
| | 31,088 | 2 | 15 | 4 | ,09 | − 0,002 | 3 | ,07 | + 0,02 | 1 | |
| | 37,864 | 2 | 11 | 3 | ,85 | + 0,01 | 1 | ,82 | + 0,04 | 1u | |
| | 38,301 | 5 | 15 | 4 | ,29 | + 0,01 | 3 | ,27 | + 0,03 | 2 | |
| | 49,511 | 4 | 12 | 5 | ,50 | + 0,01 | 3 | ,47 | +,0,04 | 3 | |
| | 50,017 | 2 | 13 | 5 | ,02 | − 0,003 | 2 | ,00 | + 0,02 | 1 | |
| | 55,467 | 2 | 13 | 5 | ,45 | + 0,02 | 3 | ,42 | + 0,05 | 1 | |

Tabelle 4 (Fortsetzung).

| | $\lambda$ | $I$ | $\Delta$ | $n$ | $K$ | $\lambda - K$ | $I_K$ | E. u. H. | $\Delta\lambda$ | $I_F$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3659,517 | 3 | ±0,0012 | 5 | ,51 | + 0,007 | 4 | ,50 | + 0,02 | 1 |
| | 67,264 | 1 | 12 | 2 | ,27 | − 0,006 | 2 | ,27 | − 0,006 | 1 u |
| | 69,521 | 4 | 13 | 5 | — | — | — | ,52 | + 0,001 | 2 |
| | 74,756 | 2 | 15 | 3 | ,75 | + 0,006 | 1 | ,75 | + 0,006 | 1 |
| | 76,307 | 4 | 14 | 5 | ,313 | − 0,006 | 3 | ,30 | + 0,007 | 1 |
| | 84,110 | 2 | 14 | 5 | ,11 | 0,000 | 3 | ,11 | 0,000 | 2 |
| R | 3705,564 | 5 | 14 | 5 | ,56 | + 0,004 | 3 | ,57 | − 0,006 | 4 |
| R | 22,564 | 5 | 14 | 5 | ,57 | − 0,006 | 4 | ,60 | + 0,004 | 1 |
| | 26,918 | 2 u | 13 | 6 | ,91 | + 0,008 | 2 | ,95 | − 0,03 | 1 u |
| | 27,095 | 2 | 14 | 6 | ,09 | + 0,005 | 3 | ,05 | + 0,04 | 1 u |
| | 30,391 | 2 | 12 | 6 | ,38 | + 0,01 | 3 | ,38 | + 0,01 | 1 |
| | 31,376 | 4 | 14 | 5 | ,37 | + 0,006 | 2 | ,32 | + 0,06 | 1 u |
| | 32,400 | 5 | 15 | 6 | ,39 | + 0,01 | 4 | ,36 | + 0,04 | 2 |
| R | 33,318 | 5 | 12 | 6 | ,32 | − 0,002 | 3 | ,32 | − 0,002 | 3 |
| R | 34,869 | 7 | 15 | 6 | ,86 | + 0,009 | 5 | ,85 | + 0,02 | 10 |
| R | 37,134 | 7 | 14 | 6 | ,13 | + 0,004 | 5 | ,13 | + 0,004 | 6 |
| | 38,307 | 3 | 12 | 6 | ,29 | + 0,02 | 4 | ,27 | + 0,04 | 2 |
| | 42,625 | 4 | 13 | 6 | ,61 | + 0,02 | 2 | ,59 | + 0,03 | 1 |
| | 44,098 | 3 | 15 | 5 | ,09 | + 0,008 | 2 | 0,5 | − 0,05 | 1 u |
| | 48,959 | 4 | 13 | 6 | ,90 | + 0,06 | 2 | ,90 | + 0,06 | 1 |
| R | 49,486 | 7 | 13 | 6 | ,47 | + 0,02 | 5 | ,47 | + 0,02 | 10 |
| | 56,945 | 3 | 15 | 6 | — | — | — | ,91 | + 0,04 | 1 |
| | 60,533 | 2 | 13 | 6 | ,52 | + 0,01 | 3 | ,53 | + 0,003 | 1 |
| | 65,543 | 5 | 14 | 6 | ,54 | + 0,003 | 5 | ,55 | − 0,007 | 3 |
| | 74,825 | 3 | 14 | 5 | ,81 | + 0,02 | 3 | ,80 | + 0,03 | 1 |
| | 76,457 | 3 | 12 | 5 | ,44 | + 0,02 | 3 | ,40 | + 0,06 | 1 |
| | 90,095 | 5 | 14 | 5 | ,09 | + 0,005 | 4 | ,08 | + 0,02 | 2 |
| R | 95,008 | 6 | 13 | 6 | ,00 | + 0,008 | 5 | 4,99 | + 0,02 | 5 |
| | 99,549 | 6 | 12 | 6 | ,55 | − 0,001 | 4 | ,55 | − 0,001 | 5 |
| | 3806,210 | 2 | 12 | 4 | ,20 | + 0,01 | 2 | ,20 | + 0,01 | 1 u |
| | 7,539 | 3 | 14 | 6 | ,53 | + 0,009 | 3 | ,51 | + 0,03 | 2 |
| | 12,985 | 2 | 13 | 4 | — | — | — | ,97 | + 0,02 | 4 |
| | 14,526 | 2 | 15 | 6 | ,49 | + 0,04 | 3 | ,50 | + 0,03 | 1 |
| R | 20,424 | 8 | 13 | 5 | ,44 | − 0,02 | 5 | ,46 | − 0,04 | 10 |
| | 21,179 | 5 | 11 | 6 | ,18 | − 0,001 | 3 | ,18 | − 0,001 | 3 |
| | 24,508 | 2 | 15 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 27,833 | 7 | 15 | 5 | ,83 | + 0,003 | 5 | ,85 | − 0,02 | 8 |
| R | 40,440 | 7 | 14 | 6 | ,44 | 0,000 | 5 | ,46 | − 0,02 | 4 |
| | 41,054 | 8 | 13 | 6 | ,06 | − 0,006 | 5 | ,08 | − 0,03 | 5 |
| | 46,807 | 5 | 14 | 6 | ,80 | + 0,007 | 4 | ,82 | − 01 | 2 |
| | 50,821 | 6 | 12 | 6 | ,82 | + 0,001 | 4 | ,86 | − 0,04 | 2 |
| | 52,578 | 4 | 12 | 5 | — | — | — | ,60 | − 0,02 | 2 |
| R | 56,373 | 6 | 14 | 5 | ,38 | − 0,007 | 5 | ,40 | − 0,03 | 5 |
| | 59,219 | 3 | 12 | 6 | ,22 | − 0,001 | 4 | ,24 | − 0,02 | 2 |
| | 67,218 | 4 | 14 | 5 | ,21 | + 0,008 | 4 | ,25 | − 0,03 | 2 |
| | 71,754 | 2 | 14 | 5 | ,79 | − 0,04 | 3 | ,79 | − 0,04 | 1 |
| | 72,505 | 6 | 12 | 4 | ,51 | − 0,005 | 5 | ,55 | − 0,05 | 4 u |
| | 73,763 | 4 | 14 | 5 | ,76 | + 0,003 | 4 | ,79 | − 0,03 | 2 |
| | 78,019 | 3 | 12 | 5 | ,02 | − 0,001 | 5 | ,05 | − 0,03 | 4 u |
| | 87,049 | 6 | 12 | 5 | ,05 | − 0,001 | 4 | ,06 | − 0,01 | 3 |
| | 88,512 | 5 | 12 | 5 | ,52 | − 0,008 | 4 | ,54 | − 0,03 | 4 |
| | 90,845 | 2 | 15 | 3 | ,84 | + 0,005 | 3 | ,87 | − 0,02 | 1 |
| R | 95,655 | 5 | 12 | 5 | ,65 | + 0,005 | 4 | ,65 | + 0,005 | 3 |
| | 3902,951 | 7 | 12 | 5 | ,95 | + 0,001 | 5 | ,95 | + 0,001 | 5 |
| | 7,937 | 2 | 14 | 5 | — | — | — | ,91 | + 0,03 | 1 |

**Tabelle 4 (Fortsetzung).**

| | $\lambda$ | $I$ | $\Delta$ | $n$ | $K$ | $\lambda - K$ | $I_K$ | E. u. H. | $\Delta\lambda$ | $I_F$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3913,640 | 2 | ±0,0013 | 5 | — | — | — | ,65 | − 0,01 | 1 | |
| | 17,187 | 4 | 13 | 5 | ,17 | + 0,02 | 4 | ,16 | + 0,03 | 2 | |
| | 18,649 | 3 | 12 | 5 | ,63 | + 0,02 | 3 | ,63 | + 0,02 | 1 | |
| | 19,067 | 3 | 12 | 4 | ,06 | + 0,007 | 2 | ,05 | + 0,02 | 1 | |
| R | 20,262 | 5 | 11 | 5 | ,26 | + 0,002 | 4 | ,26 | + 0,002 | 4 | |
| R | 22,915 | 6 | 13 | 5 | ,92 | − 0,005 | 5 | ,93 | − 0,02 | 4 | |
| | 25,644 | 2 | 14 | 4 | — | — | — | ,63 | + 0,01 | 1 | |
| | 25,949 | 3 | 15 | 5 | ,95 | − 0,001 | 3 | ,95 | − 0,001 | 1 | |
| | 30,300 | 5 | 12 | 5 | ,30 | 0,000 | 5 | ,32 | − 0,02 | 4 | |
| | 32,633 | 2 | 15 | 4 | ,63 | + 0,003 | 2 | ,61 | + 0,02 | 1 | |
| | 33,657 | 3 | 15 | 2 | — | — | — | — | — | — | Ca |
| | 42,441 | 2 | 11 | 5 | ,44 | + 0,001 | 4 | ,44 | + 0,001 | 1 | |
| | 48,115 | 3 | 15 | 4 | ,10 | + 0,02 | 3 | ,10 | + 0,02 | 1 u | |
| | 48,779 | 4 | 11 | 4 | ,77 | + 0,009 | 4 | ,76 | + 0,02 | 2 | |
| | 49,956 | 5 | 12 | 3 | ,95 | + 0,006 | 4 | ,98 | − 0,02 | 2 | |
| | 51,165 | 5 | 12 | 5 | ,16 | + 0,005 | 4 | ,20 | − 0,03 | 2 | |
| | 52,609 | 4 | 15 | 5 | ,60 | + 0,009 | 4 | ,63 | − 0,02 | 1 | |
| | 56,461 | 2 | 14 | 4 | ,45 | + 0,01 | 3 | ,48 | − 0,02 | 2 | |
| | 61,530 | 3 | 14 | 3 | — | — | — | — | — | — | |
| | 66,070 | 5 | 13 | 5 | ,06 | + 0,01 | 3 | ,10 | − 0,03 | 2 | |
| | 68,472 | 4 | 11 | 2 | — | — | — | — | — | — | Ca |
| R | 69,261 | 7 | 12 | 5 | ,26 | + 0,001 | 5 | ,28 | − 0,02 | 5 | |
| | 70,392 | 2 | 15 | 4 | ,39 | + 0,002 | 3 | ,40 | − 0,008 | 1 | |
| | 71,327 | 4 | 15 | 4 | ,32 | + 0,007 | 4 | ,35 | − 0,02 | 1 | |
| | 83,962 | 4 | 15 | 5 | ,98 | − 0,02 | 4 | ,99 | − 0,03 | 2 | |
| | 98,055 | 4 | 13 | 4 | ,05 | + 0,005 | 4 | ,05 | + 0,005 | 2 | |
| | 4024,751 | 2 | 14 | 5 | ,73 | + 0,02 | 3 | ,75 | + 0,001 | 1 u | |
| | 30,511 | 1 | 12 | 5 | ,49 | + 0,02 | 3 | ,51 | + 0,001 | 1 | |
| | 30,764 | 3 | 12 | 5 | — | — | — | — | — | — | Mn |
| | 33,071 | 2 | 13 | 5 | — | — | — | — | — | — | Mn |
| | 34,486 | 3 | 15 | 5 | — | — | — | — | — | — | Mn, Fe |
| | 35,727 | 2 | 15 | 3 | — | — | — | — | — | — | Mn |
| | 41,357 | 2 | 14 | 5 | — | — | — | — | — | — | Mn |
| | 55,546 | 2 u | 13 | 5 | — | — | — | — | — | — | Mn |
| | 62,446 | 4 | 14 | 5 | ,45 | − 0,004 | 5 | ,44 | + 0,006 | 2 | |
| | 63,288 | 2 | 14 | 2 | ,30 | − 0,01 | 3 | — | — | — | |
| R | 63,603 | 8 | 13 | 5 | ,61 | − 0,007 | 6 | ,63 | − 0,03 | 10 | |
| | 66,976 | 2 | 14 | 5 | ,99 | − 0,01 | 4 | ,95 | + 0,03 | 1 | |
| | 70,780 | 3 | 14 | 5 | ,79 | − 0,01 | 4 | ,79 | − 0,01 | 1 | |
| | 73,776 | 2 | 12 | 5 | ,78 | − 0,004 | 3 | ,80 | − 0,004 | 1 u | |
| | 74,791 | 3 | 14 | 5 | ,80 | − 0,009 | 4 | ,79 | 0,001 | 1 | |
| | 78,363 | 2 | 11 | 5 | ,36 | + 0,003 | 4 | ,35 | + 0,01 | 1 | |
| | 84,506 | 3 | 14 | 5 | ,50 | + 0,006 | 5 | ,55 | − 0,04 | 1 | |
| | 85,003 | 2 | 15 | 5 | ,01 | − 0,007 | 4 | ,02 | − 0,02 | 1 | |
| | 85,309 | 2 | 11 | 5 | ,31 | − 0,001 | 4 | ,34 | − 0,03 | 1 | |
| | 4100,743 | 3 | 14 | 4 | ,75 | − 0,007 | 4 | ,74 | + 0,003 | 1 | |

Tabelle 5.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2996,393 | 2 | ±0,002 | 2 | ,38 | + 0,01 | 4 | ,40 | − 0,007 | 1 u |
| | 99,514 | 6 | 18 | 4 | ,51 | + 0,004 | 6 | ,55 | − 0,04 | 2 |
| R | 3000,951 | 4 | 2 | 5 | ,95 | + 0,001 | 5 | ,97 | − 0,02 | 2 |
| | 11,486 | 3 | 16 | 5 | ,48 | + 0,006 | 4 | ,52 | − 0,03 | 1 |
| | 15,928 | 2 | 16 | 2 | ,93 | − 0,002 | 3 | — | — | — |
| | 16,189 | 3 u | 19 | 5 | ,18 | + 0,009 | 4 | ,19 | − 0,001 | 1 |

**Tabelle 5 (Fortsetzung).**

| | $\lambda$ | $I$ | $\Delta$ | $n$ | $K$ | $\lambda - K$ | $I_K$ | E u.H. | $\Delta\lambda$ | $I_F$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3025,634 | 6 | ±0,0019 | 3 | ,61 | + 0,02 | 4 | — | — | — | |
| | 45,083 | 2 | 2 | 4 | ,06 | + 0,02 | 4 | — | — | — | |
| R | 47,610 | 8 | 2 | 5 | ,60 | + 0,01 | 6 | ,60 | + 0,01 | 3 | |
| | 53,074 | 2 | 17 | 3 | ,05 | + 0,02 | 4 | ,08 | − 0,006 | 1 | |
| | 55,271 | 4 | 17 | 5 | ,25 | + 0,02 | 4 | ,27 | + 0,001 | 1 | |
| R | 57,449 | 8 | 17 | 5 | ,44 | + 0,009 | 6 | ,45 | − 0,001 | 3 | |
| | 60,994 | 2 | 2 | 2 | ,97 | + 0,02 | 3 | — | — | — | |
| | 66,497 | 1 | 2 | 2 | ,49 | + 0,007 | 3 | — | — | — | |
| | 67,214 | 7 | 17 | 3 | ,24 | − 0,03 | 6 | ,23 | − 0,02 | 3 | |
| | 91,582 | 6 | 18 | 4 | ,57 | + 0,01 | 5 | ,61 | − 0,03 | 2 | |
| | 93,366 | 1 | 2 | 2 | ,33 | + 0,03 | 2 | — | — | — | |
| | 99,937 | 7 | 2 | 4 | ,94 | − 0,003 | 6 | ,95 | − 0,01 | 4 | |
| | 3102,870 | 3 | 2 | 2 | ,87 | 0,000 | 2 | — | — | — | |
| | 42,896 | 4 | 16 | 3 | ,88 | + 0,02 | 3 | ,92 | − 0,02 | 1 u | |
| | 57,064 | 5 | 19 | 2 | ,03 | + 0,03 | 3 | ,04 | + 0,02 | 1 | |
| | 84,902 | 4 | 17 | 4 | ,88 | + 0,02 | 3 | ,90 | + 0,002 | 1 | |
| | 88,585 | 3 | 17 | 3 | ,52 | + 0,07 | 3 | — | — | — | |
| | 93,274 | 4 | 18 | 3 | ,28 | − 0,006 | 2 | ,31 | − 0,04 | 2 | |
| | 99,526 | 4 | 16 | 3 | ,51 | + 0,02 | 5 | ,53 | − 0,004 | 1 | |
| | 3210,253 | 5 | 16 | 3 | ,23 | + 0,02 | 3 | ,27 | − 0,02 | 1 u | |
| | 22,062 | 8 | 18 | 2 | ,06 | + 0,002 | 6 | ,06 | + 0,002 | 3 | |
| | 39,442 | 7 | 19 | 4 | ,44 | +,0,002 | 5 | ,43 | + 0,01 | 2 | |
| | 44,186 | 8 | 2 | 4 | ,18 | + 0,006 | 5 | ,18 | + 0,006 | 2 | |
| | 50,638 | 5 | 17 | 2 | ,62 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 54,371 | 3 | 17 | 3 | ,36 | + 0,01 | 5 | ,35 | + 0,02 | 2 | |
| | 65,047 | 3 | 19 | 4 | ,04 | + 0,007 | 3 | ,06 | − 0,01 | 1 u | |
| | 86,753 | 7 | 17 | 4 | ,76 | − 0,007 | 6 | ,76 | − 0,007 | 3 | |
| | 98,133 | 6 | 18 | 3 | ,12 | + 0,01 | 5 | ,11 | + 0,02 | 1 | |
| | 3306,354 | 8 | 19 | 3 | ,37 | − 0,02 | 6 | ,39 | − 0,04 | 3 | |
| | 7,239 | 3 | 18 | 3 | ,22 | + 0,02 | 3 | ,23 | + 0,009 | 1 | |
| | 17,126 | 3 | 19 | 3 | ,12 | + 0,006 | 3 | — | — | — | |
| | 22,495 | 2 | 2 | 2 | — | — | — | — | — | — | |
| | 41,915 | 4 | 17 | 4 | ,92 | − 0,005 | 3 | ,91 | + 0,005 | 1 | |
| | 79,035 | 4 u | 17 | 4 | ,02 | + 0,02 | 4 | ,02 | + 0,02 | 1 | |
| | 80,123 | 7 | 18 | 4 | ,11 | + 0,01 | 5 | ,12 | + 0,003 | 1 | |
| | 89,764 | 1 | 19 | 3 | ,74 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 92,036 | 1 | 18 | 4 | ,02 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 92,667 | 5 | 16 | 4 | ,64 | + 0,03 | 5 | ,67 | − 0,003 | 2 | |
| | 93,004 | 2 | 18 | 2 | — | — | — | — | — | — | Ni ? |
| | 94,601 | 5 | 19 | 4 | ,60 | + 0,001 | 3 | ,58 | + 0,02 | 1 | |
| | 3401,536 | 3 u | 2 | 4 | ,53 | + 0,006 | 4 | ,52 | + 0,02 | 1 | |
| | 2,273 | 4 | 16 | 4 | ,26 | + 0,01 | 4 | ,27 | + 0,003 | 1 | |
| | 5,139 | 1 | 2 | 3 | — | — | — | — | — | — | Kr |
| | 5,857 | 1 | 19 | 2 | ,83 | + 0,03 | 2 | — | — | — | |
| | 10,197 | 2 u | 2 | 3 | ,18 | + 0,02 | 4 | — | — | — | |
| | 13,145 | 6 | 18 | 4 | ,15 | − 0,005 | 6 | ,16 | − 0,02 | 3 | |
| | 14,785 | 2 | 19 | 4 | — | — | — | — | — | — | Fe, Ni |
| | 17,855 | 6 | 19 | 3 | ,83 | + 0,03 | 5 | ,84 | + 0,02 | 2 | |
| | 18,517 | 7 | 16 | 4 | ,51 | + 0,007 | 5 | ,51 | + 0,007 | 2 | |
| | 24,295 | 6 | 2 | 4 | ,29 | + 0,005 | 6 | ,31 | − 0,02 | 2 | |
| | 25,025 | 3 | 18 | 4 | ,01 | + 0,02 | 4 | ,03 | − 0,005 | 1 u | |
| | 28,202 | 2 | 16 | 4 | ,19 | + 0,01 | 4 | ,19 | + 0,01 | 2 | |
| | 33,575 | 2 | 17 | 4 | — | — | — | — | — | — | Ni |
| | 37,960 | 2 | 19 | 4 | ,93 | + 0,03 | 1 | ,91 | + 0,05 | 1 u | |
| | 39,877 | 3 u | 18 | 4 | ,86 | + 0,02 | 2 u | ,86 | + 0,02 | 1 u | |

Tabelle 5 (Fortsetzung).

| | λ | I | Δ | n | K | λ − K | $I_K$ | E. u. H. | Δλ | $I_F$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3442,679 | 2 | ±0,0016 | 4 | ,67 | + 0,009 | 2 | — | — | — | |
| | 52,281 | 5 | 18 | 4 | ,27 | + 0,01 | 4 | ,28 | + 0,001 | 1 | |
| | 53,521 | 2 | 17 | 4 | — | — | — | — | — | — | Co |
| | 59,926 | 6 | 19 | 4 | ,90 | + 0,03 | 4 | ,88 | + 0,05 | 1 | |
| | 61,662 | 3 | 16 | 4 | — | — | — | — | — | — | Ni |
| | 62,365 | 2 | 16 | 4 | ,34 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| R | 65,870 | 8 | 18 | 4 | ,87 | 0,000 | 6 | ,86 | + 0,01 | 3 | |
| | 68,854 | 1 | 16 | 4 | ,83 | + 0,02 | 3 | ,80 | + 0,05 | 1 | |
| | 69,019 | 1 | 2 | 4 | ,00 | + 0,02 | 2 | 8,95 | + 0,07 | 1 u | |
| | 76,846 | 2 | 18 | 4 | ,85 | − 0,004 | 3 | — | — | — | |
| | 83,015 | 4 | 16 | 4 | ,01 | + 0,005 | 2 | ,04 | − 0,02 | 1 | |
| | 89,675 | 4 | 2 | 5 | ,66 | + 0,02 | 4 | ,65 | + 0,03 | 1 | |
| R | 90,577 | 8 | 17 | 5 | ,58 | − 0,003 | 5 | ,61 | − 0,03 | 4 | |
| | 92,962 | 2 | 18 | 5 | — | — | — | — | — | — | Ni |
| | 95,905 | 3 | 16 | 2 | ,88 | + 0,03 | 1 | — | — | — | |
| | 3504,868 | 1 | 19 | 5 | ,87 | − 0,002 | 2 | — | — | — | |
| | 5,064 | 2 | 18 | 4 | ,06 | + 0,004 | 2 | — | — | — | |
| | 6,502 | 4 | 18 | 5 | — | — | — | ,49 | + 0,01 | 1 | |
| | 14,631 | 1 | 2 | 2 | ,62 | + 0,01 | 1 | — | — | — | |
| | 21,835 | 3 | 16 | 5 | ,83 | + 0,005 | 2 | ,83 | + 0,005 | 1 | |
| R | 26,415 | 3 | 2 | 5 | ,38 | + 0,04 | 1 | ,50 | − 0,08 | 1 u | |
| | 29,809 | 5 | 16 | 4 | ,80 | + 0,009 | 3 | ,78 | + 0,03 | 1 | |
| | 33,200 | 5 | 19 | 5 | ,19 | + 0,01 | 4 | ,17 | + 0,03 | 2 u | |
| | 40,126 | 3 | 16 | 5 | ,12 | + 0,006 | 2 | ,11 | + 0,02 | 1 | |
| | 45,627 | 2 | 16 | 4 | ,62 | + 0,007 | 4 | ,60 | + 0,03 | 1 u | |
| | 52,832 | 6 | 16 | 4 | ,30 | + 0,002 | 3 | ,85 | − 0,02 | 1 | |
| | 54,920 | 8 | 16 | 5 | ,92 | 0,000 | 6 | ,93 | − 0,01 | 4 | |
| | 68,977 | 2 | 18 | 3 | ,97 | + 0,007 | 2 | ,96 | + 0,02 | 1 | |
| | 69,483 | 2 | 19 | 3 | — | — | — | — | — | — | Mn |
| | 73,403 | 2 | 2 | 4 | ,39 | + 0,01 | 2 | ,39 | + 0,01 | 1 | |
| | 75,251 | 3 | 16 | 4 | ,24 | + 0,01 | 1 | — | — | — | |
| R | 81,192 | 8 | 17 | 3 | ,20 | − 0,008 | 6 | ,19 | + 0,002 | 10 | |
| | 88,918 | 3 | 18 | 4 | ,92 | − 0,002 | 1 | ,90 | + 0,02 | 1 u | |
| | 89,452 | 5 | 19 | 3 | ,45 | + 0,002 | 2 | ,44 | + 0,01 | 1 | |
| | 97,069 | 2 | 16 | 2 | ,05 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 3621,466 | 5 | 17 | 5 | ,46 | + 0,006 | 4 | ,45 | + 0,02 | 3 | |
| | 21,724 | 3 | 18 | 2 | ,72 | + 0,004 | 1 | — | — | — | |
| | 30,353 | 2 | 19 | 4 | ,35 | + 0,003 | 3 | ,36 | − 0,007 | 1 | |
| R | 31,462 | 6 | 18 | 5 | ,46 | + 0,002 | 4 | ,47 | − 0,008 | 6 | |
| | 36,993 | 1 u | 19 | 3 | 37,003 | − 0,01 | 1 u | ,97 | + 0,02 | 1 u | |
| | 45,828 | 2 | 16 | 5 | ,81 | + 0,02 | 3 | ,80 | + 0,03 | 2 | |
| | 47,438 | 2 | 2 | 5 | ,42 | + 0,02 | 1 | ,39 | − 0,05 | 1 | |
| | 49,302 | 1 | 19 | 4 | ,29 | + 0,01 | 1 | — | — | — | |
| | 50,277 | 2 | 19 | 5 | ,27 | + 0,007 | 3 | ,26 | + 0,02 | 1 | |
| | 69,145 | 1 | 17 | 4 | ,14 | + 0,005 | 2 | 1,5 | − 0,005 | 1 | |
| | 70,056 | 2 | 18 | 5 | ,07 | − 0,01 | 3 | ,06 | − 0,004 | 1 | |
| | 83,053 | 3 | 16 | 5 | ,06 | − 0,007 | 1 | ,05 | + 0,003 | 2 | |
| | 85,991 | 4 | 19 | 5 | ,99 | + 0,001 | 4 | ,99 | + 0,001 | 2 | |
| | 87,092 | 1 | 19 | 3 | ,08 | + 0,01 | 2 | ,09 | + 0,002 | 1 | |
| | 87,450 | 6 | 18 | 5 | ,45 | 0,000 | 4 | ,46 | − 0,01 | 4 u | |
| | 90,720 | 2 | 19 | 5 | ,72 | 0,000 | 2 | ,75 | − 0,03 | 1 | |
| | 97,438 | 3 | 2 | 5 | ,43 | + 0,008 | 3 | ,44 | − 0,002 | 1 u | |
| | 98,603 | 4 | 16 | 2 | ,60 | + 0,003 | 2 | ,62 | − 0,02 | 1 u | |
| | 3703,818 | 3 | 19 | 5 | ,81 | + 0,008 | 2 | ,80 | + 0,02 | 1 | |
| | 4,460 | 6 | 19 | 5 | ,43 | + 0,03 | 4 | ,47 | − 0,01 | 2 | |

**Tabelle 5 (Fortsetzung).**

| | λ | I | Δ | n | K | λ−K | $I_K$ | E. u. H. | Δλ | $I_F$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 3709,243 | 6 | ±0,0018 | 5 | ,24 | + 0,003 | 4 | ,25 | − 0,007 | 4 | |
| | 11,216 | 2 | 19 | 3 | ,21 | + 0,006 | 2 | ,23 | − 0,01 | 1 u | |
| | 15,911 | 3 | 18 | 5 | ,90 | + 0,01 | 3 | ,89 | + 0,02 | 1 | |
| | 16,443 | 5 | 2 | 4 | ,44 | + 0,003 | 4 | — | — | — | |
| | 18,405 | 2 | 17 | 5 | ,40 | + 0,005 | 3 | ,39 | − 0,02 | 1 | |
| R | 27,614 | 6 | 16 | 6 | ,63 | − 0,02 | 4 | ,63 | − 0,02 | 5 | |
| | 39,543 | 2 | 2 | 6 | ,53 | − 0,01 | 2 | ,55 | − 0,007 | 1 u | |
| | 43,323 | 1 | 2 | 2 | ,3 | + 0,02 | 1 | ,37 | − 0,05 | 6 | |
| R | 45,565 | 7 | 16 | 6 | ,55 | + 0,02 | 5 | ,55 | + 0,02 | 5 | |
| R | 58,235 | 8 | 19 | 6 | ,23 | + 0,005 | 5 | ,24 | − 0,005 | 8 u | |
| R | 63,791 | 8 | 19 | 6 | ,80 | − 0,009 | 5 | ,83 | − 0,04 | 6 | |
| R | 67,198 | 7 | 19 | 6 | ,19 | + 0,008 | 5 | ,21 | − 0,01 | 5 | |
| | 78,514 | 2 | 17 | 3 | ,49 | + 0,02 | 3 | ,45 | + 0,06 | 1 u | |
| | 85,949 | 4 | 16 | 6 | ,94 | + 0,009 | 3 | ,90 | + 0,05 | 2 | |
| | 86,680 | 3 | 18 | 6 | ,66 | + 0,02 | 3 | ,64 | + 0,04 | 2 | |
| | 87,886 | 6 | 17 | 5 | ,88 | + 0,006 | 4 | ,86 | + 0,03 | 4 | |
| | 89,175 | 5 | 2 | 3 | ,17 | + 0,005 | 3 | ,13 | + 0,04 | 1 | |
| | 98,514 | 5 | 16 | 6 | ,50 | + 0,01 | 4 | ,49 | + 0,02 | 4 | |
| | 3808,730 | 3 | 19 | 6 | ,72 | + 0,01 | 3 | ,68 | + 0,05 | 1 | |
| R | 15,843 | 7 | 16 | 6 | ,84 | + 0,003 | 5 | ,85 | − 0,007 | 10 | |
| | 16,341 | 2 | 16 | 6 | ,33 | + 0,01 | 3 | ,30 | + 0,04 | 1 u | |
| | 33,317 | 4 | 16 | 4 | ,31 | + 0,007 | 3 | ,31 | + 0,007 | 1 | |
| R | 34,224 | 8 | 2 | 6 | ,23 | − 0,006 | 5 | ,26 | − 0,04 | 6 | |
| | 39,258 | 4 | 16 | 6 | ,25 | + 0,008 | 4 | ,25 | + 0,008 | 2 | |
| | 45,177 | 3 | 18 | 6 | ,16 | + 0,02 | 3 | ,16 | + 0,02 | 1 | |
| R | 59,908 | 8 | 16 | 6 | ,90 | + 0,008 | 6 | ,97 | − 0,06 | 6 | |
| | 76,037 | 5 | 17 | 4 | ,04 | − 0,003 | 3 | ,05 | − 0,01 | 1 u | |
| | 78,676 | 3 | 16 | 5 | ,67 | + 0,006 | 3 | ,63 | + 0,05 | 5 u | |
| | 83,282 | 2 | 17 | 3 | ,28 | + 0,002 | 3 | ,30 | − 0,02 | 1 | |
| | 85,515 | 3 | 17 | 4 | ,51 | + 0,005 | 3 | ,51 | + 0,005 | 1 | |
| R | 86,284 | 6 | 16 | 5 | ,29 | − 0,006 | 4 | ,30 | − 0,02 | 5 | |
| | 98,017 | 3 | 6 | 2 | ,07 | − 0,05 | 2 | 7,97 | + 0,05 | 2 | |
| | 3903,900 | 3 | 2 | 5 | ,90 | 0,000 | 4 | ,88 | + 0,02 | 1 | |
| | 28,084 | 3 | 17 | 3 | ,08 | + 0,004 | 1 | — | — | — | |
| | 37,334 | 1 | 16 | 4 | ,32 | + 0,01 | 3 | ,32 | + 0,01 | 1 | |
| | 45,116 | 2 | 16 | 3 | ,11 | + 0,006 | 2 | ,13 | − 0,01 | 1 u | |
| | 47,537 | 3 | 16 | 4 | ,52 | + 0,02 | 3 | ,52 | + 0,02 | 1 u | |
| | 56,689 | 6 | 17 | 5 | ,67 | + 0,02 | 4 | ,74 | − 0,05 | 3 | |
| | 66,611 | 5u | 17 | 5 | ,62 | − 0,009 | 3 | ,64 | − 0,03 | 2 u | |
| | 67,427 | 3 | 16 | 4 | ,42 | + 0,007 | 3 | ,45 | − 0,02 | 2 | |
| | 81,773 | 3 | 16 | 5 | — | — | — | ,80 | − 0,03 | 1 | |
| | 95,996 | 2 | 19 | 3 | 6,00 | − 0,004 | 3 | 6,00 | − 0,004 | 1 u | |
| | 97,398 | 6 | 16 | 4 | ,41 | − 0,01 | 4 | ,40 | − 0,002 | 3 | |
| R | 4005,247 | 7 | 16 | 4 | ,26 | − 0,01 | 5 | ,26 | − 0,01 | 6 | |
| | 9,721 | 4 | 18 | 4 | ,71 | + 0,01 | 4 | ,72 | + 0,001 | 2 | |
| | 14,537 | 3 | 18 | 5 | ,53 | + 0,007 | 4 | ,54 | − 0,003 | 2 | |
| | 31,964 | 5 | 17 | 3 | ,97 | − 0,006 | 3 | ,97 | − 0,006 | 1 | |
| | 32,640 | 2 | 18 | 2 | ,63 | + 0,01 | 2 | ,62 | + 0,02 | 1 | |
| | 44,614 | 2 | 16 | 5 | — | — | — | ,61 | + 0,004 | 1 | |
| R | 45,820 | 8 | 2 | 5 | ,82 | 0,000 | 6 | ,84 | − 0,02 | 10 | |
| | 48,753 | 1 | 18 | 4 | — | — | — | — | — | — | Mn |
| | 67,277 | 2 | 16 | 5 | ,28 | − 0,003 | 4 | ,26 | + 0,02 | 1 | |
| R | 71,740 | 8 | 18 | 4 | ,75 | − 0,01 | 6 | ,75 | − 0,01 | 8 | |
| | 79,840 | 2 | 2 | 3 | ,85 | − 0,01 | 4 | ,87 | − 0,03 | 1 | |

## Tabelle 6.

| | λ | I | Δ | n | K | λ−K | $I_K$ | E. u. H. | Δλ | $I_F$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3003,030 | 3 | ±0,0022 | 4 | ,02 | + 0,01 | 4 | ,04 | − 0,01 | 1 | |
| | 26,468 | 3 | 24 | 3 | ,47 | − 0,002 | 5 | ,45 | + 0,02 | 2 | |
| | 31,644 | 5 | 24 | 4 | ,63 | + 0,01 | 4 | ,65 | − 0,006 | 2 | |
| R | 37,386 | 6 | 24 | 5 | ,39 | − 0,004 | 4 | ,39 | − 0,004 | 3 | |
| | 40,429 | 3 | 22 | 3 | ,43 | − 0,001 | 5 | ,43 | − 0,001 | 2 | |
| | 42,669 | 3 | 23 | 4 | ,65 | + 0,02 | 5 | ,65 | + 0,02 | 2 | |
| | 98,202 | 2 u | 21 | 3 | ,18 | + 0,02 | 4 | ,22 | − 0,02 | 1 u | |
| | 3134,116 | 7 | 22 | 5 | ,10 | + 0,02 | 5 | ,12 | − 0,004 | 1 | |
| | 43,986 | 5 | 22 | 4 | ,97 | + 0,02 | 4 | — | — | — | |
| | 57,895 | 4 | 22 | 2 | ,88 | + 0,02 | 4 | ,90 | − 0,005 | 1 | |
| | 61,951 | 3 | 25 | 3 | ,94 | + 0,01 | 4 | ,99 | − 0,04 | 1 | |
| | 66,452 | 4 | 23 | 3 | ,43 | + 0,02 | 4 | ,46 | − 0,008 | 1 | |
| | 3211,700 | 3 | 25 | 4 | ,67 | + 0,03 | 2 | ,77 | − 0,07 | 1 u | |
| | 29,139 | 2 | 22 | 2 | ,12 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 30,209 | 2 | 21 | 3 | ,20 | + 0,009 | 3 | ,20 | + 0,009 | 1 u | |
| | 34,617 | 2 | 22 | 3 | ,62 | − 0,003 | 1 | ,57 | + 0,05 | 1 | |
| | 46,970 | 2 | 25 | 3 | — | — | — | ,97 | 0,000 | 1 u | |
| | 48,212 | 2 | 23 | 4 | ,21 | + 0,002 | 3 | ,21 | + 0,002 | 1 | |
| | 52,934 | 5 | 25 | 3 | ,90 | + 0,03 | 2 | ,92 | + 0,01 | 1 u | |
| | 64,518 | 3 | 22 | 2 | ,50 | + 0,02 | 3 | ,50 | + 0,02 | 1 u | |
| | 73,959 | 2 | 22 | 4 | — | — | — | — | — | — | Cu |
| | 82,907 | 4 | 22 | 3 | ,89 | + 0,02 | 3 | ,91 | − 0,003 | 1 | |
| | 3339,202 | 3 | 23 | 4 | ,18 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 72,088 | 2 | 22 | 4 | ,09 | − 0,002 | 3 | — | — | — | |
| | 92,323 | 1 | 23 | 4 | ,30 | + 0,02 | 3 | ,31 | + 0,01 | 1 | |
| | 96,995 | 4 | 23 | 4 | ,98 | + 0,02 | 3 | 7,00 | − 0,005 | 1 u | |
| | 3406,822 | 4 | 21 | 3 | ,80 | + 0,02 | 4 | ,82 | + 0,002 | 1 | |
| | 411,372 | 3 | 25 | 4 | ,36 | + 0,01 | 5 | ,37 | + 0,002 | 1 | |
| | 22,505 | 2 | 23 | 4 | ,49 | + 0,02 | 4 | ,51 | − 0,005 | 1 | |
| | 27,015 | 2 | 22 | 4 | ,98 | + 0,04 | 1 | — | — | — | |
| | 37,046 | 4 | 24 | 3 | ,04 | + 0,006 | 2 | — | — | — | |
| | 38,317 | 2 u | 22 | 3 | ,30 | + 0,02 | 1 | — | — | — | |
| | 39,046 | 1 | 22 | 4 | ,03 | + 0,02 | 1 | — | — | — | |
| | 58,471 | 1 | 21 | 3 | — | — | — | — | — | — | |
| | 59,443 | 2 u | 25 | 3 | ,42 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 76,698 | 6 | 24 | 4 | ,69 | + 0,008 | 5 | ,68 | + 0,02 | 3 | |
| | 3513,059 | 2 | 22 | 4 | ,05 | + 0,009 | 1 | — | — | — | |
| | 15,049 | 2 | 25 | 3 | — | — | — | — | — | — | Ni |
| | 16,405 | 3 | 24 | 2 | ,40 | + 0,005 | 2 | ,38 | + 0,03 | 1 | |
| | 21,257 | 5 | 24 | 3 | ,26 | − 0,003 | 5 | ,27 | − 0,01 | 3 | |
| | 24,073 | 3 | 24 | 4 | ,07 | + 0,003 | 2 | ,05 | + 0,02 | 1 | |
| | 24,241 | 3 | 22 | 4 | ,24 | + 0,001 | 2 | ,21 | + 0,03 | 1 | |
| | 24,527 | 2 | 21 | 3 | — | — | — | — | — | — | Ni |
| R | 26,098 | 5 | 24 | 5 | — | — | — | ,04 | + 0,06 | 2 | |
| | 27,790 | 5 | 24 | 5 | ,78 | + 0,01 | 4 | ,77 | + 0,02 | 1 | |
| | 30,379 | 3 | 25 | 5 | ,37 | + 0,009 | 2 | ,35 | + 0,03 | 1 u | |
| | 42,054 | 6 u | 24 | 4 | ,08 | − 0,03 | 4 | ,09 | − 0,04 | 3 u | |
| | 43,380 | 1 | 23 | 2 | ,39 | − 0,01 | 1 | — | — | — | |
| | 47,786 | 2 | 21 | 5 | — | — | — | — | — | — | |
| | 52,110 | 1 | 21 | 3 | ,10 | + 0,01 | 2 | — | — | — | |
| R | 65,385 | 8 | 25 | 4 | ,38 | + 0,005 | 6 | ,38 | + 0,005 | 5 | |
| | 71,232 | 1 | 24 | 3 | ,22 | + 0,01 | 2 | — | — | — | |
| | 71,996 | 4 | 21 | 4 | 2,00 | − 0,004 | 4 | ,98 | + 0,02 | 2 | |
| | 73,869 | 3 | 24 | 3 | — | — | — | ,88 | − 0,01 | 2 | |
| | 82,202 | 2 | 25 | 2 | ,19 | + 0,01 | 3 | ,19 | + 0,01 | 2 | |

Tabelle 6 (Fortsetzung).

| | $\lambda$ | $I$ | $\Delta$ | $n$ | $K$ | $\lambda - K$ | $I_K$ | E.u.H. | $\Delta\lambda$ | $I_F$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3584,662 | 5 | ±0,0021 | 4 | ,65 | + 0,01 | 4 | ,65 | + 0,01 | 2 |
| | 85,314 | 2 | 23 | 4 | ,32 | − 0,006 | 3 | ,33 | − 0,02 | 3 |
| | 86,113 | 3 | 25 | 3 | ,11 | + 0,003 | 4 | ,10 | + 0,01 | 3 |
| | 87,242 | 4u | 24 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 87,428 | 4 | 22 | 3 | ,42 | + 0,008 | 2 | — | — | — |
| | 87,749 | 3 | 23 | 3 | ,74 | + 0,009 | 2 | ,72 | + 0,03 | 1 |
| | 88,596 | 3u | 24 | 3 | ,61 | − 0,01 | 2 | ,60 | − 0,001 | 1u |
| | 3605,470 | 5 | 24 | 4 | ,47 | 0,000 | 4 | ,46 | + 0,01 | 3 |
| | 10,153 | 5 | 21 | 5 | ,16 | − 0,007 | 4 | ,15 | + 0,003 | 3 |
| | 12,089 | 3 | 21 | 3 | ,08 | + 0,009 | 2 | ,09 | − 0,001 | 1 |
| | 16,581 | 2 | 24 | 2 | ,57 | + 0,01 | 1 | ,58 | + 0,001 | 1u |
| | 25,147 | 2 | 23 | 4 | ,14 | + 0,007 | 3 | ,15 | − 0,003 | 1 |
| | 32,041 | 2 | 21 | 5 | ,04 | + 0,001 | 3 | ,02 | + 0,02 | 2 |
| | 32,557 | 2 | 24 | 3 | ,55 | + 0,007 | 1 | ,53 | + 0,03 | 1 |
| | 34,666 | 1 | 25 | 2 | ,68 | − 0,01 | 1 | ,65 | + 0,02 | 1u |
| R | 47,842 | 7 | 22 | 5 | ,84 | + 0,002 | 5 | ,84 | + 0,002 | 6 |
| | 77,296 | 2 | 21 | 5 | ,30 | − 0,004 | 2 | ,29 | + 0,006 | 1 |
| | 82,213 | 2 | 22 | 5 | ,23 | − 0,02 | 4 | ,25 | − 0,04 | 3 |
| | 89,444 | 5 | 21 | 5 | ,45 | − 0,006 | 3 | ,44 | + 0,004 | 2 |
| | 3707,043 | 3 | 23 | 5 | ,04 | + 0,003 | 3 | ,05 | − 0,007 | 1 |
| R | 19,933 | 8 | 21 | 5 | ,93 | + 0,003 | 6 | ,94 | − 0,007 | 10 |
| | 27,793 | 2u | 23 | 6 | ,81 | − 0,02 | 1 | — | — | — |
| | 30,947 | 2 | 21 | 6 | ,93 | + 0,02 | 2 | ,91 | + 0,04 | 1 |
| | 40,264 | 2 | 25 | 4 | ,24 | + 0,02 | 2 | ,25 | + 0,01 | 1u |
| | 43,448 | 2 | 24 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 57,471 | 1u | 23 | 2 | — | — | — | ,43 | + 0,04 | 1 |
| | 94,343 | 2 | 23 | 6 | ,33 | + 0,01 | 3 | ,32 | + 0,02 | 1 |
| | 3801,676 | 2 | 23 | 5 | ,67 | + 0,006 | 3 | ,67 | + 0,006 | 1 |
| | 23,512 | 2 | 25 | 5 | — | — | — | — | — | — |
| R | 25,884 | 7 | 21 | 6 | ,90 | − 0,02 | 5 | ,93 | − 0,05 | 8 |
| | 37,126 | 1u | 25 | 2 | ,12 | + 0,006 | 2 | ,15 | − 0,02 | 1u |
| | 46,412 | 2 | 22 | 6 | ,40 | + 0,01 | 2 | ,40 | + 0,01 | 1 |
| | 84,363 | 2 | 21 | 5 | ,36 | + 0,003 | 2 | ,37 | − 0,007 | 1 |
| | 93,390 | 3 | 21 | 5 | ,39 | 0,000 | 3 | ,39 | 0,000 | 2 |
| | 97,450 | 1 | 25 | 4 | — | — | — | ,43 | + 0,02 | 1 |
| | 3909,834 | 2 | 23 | 3 | ,83 | + 0,004 | 3 | ,85 | − 0,02 | 1u |
| | 53,150 | 2 | 24 | 3 | ,15 | 0,000 | 3 | ,19 | − 0,04 | 1 |
| | 63,119 | 2 | 21 | 3 | ,11 | + 0,009 | 3 | ,17 | − 0,05 | 1u |
| | 76,619 | 1 | 22 | 3 | ,61 | + 0,009 | 2 | ,61 | + 0,009 | 1 |
| | 86,179 | 2 | 21 | 5 | ,18 | − 0,001 | 4 | ,18 | − 0,001 | 1 |
| | 4001,674 | 2 | 21 | 3 | ,66 | + 0,01 | 3 | ,67 | +,0,004 | 1u |
| | 6,319 | 2 | 24 | 2 | ,31 | + 0,009 | 2 | ,33 | − 0,01 | 1 |
| | 40,641 | 2 | 25 | 2 | ,64 | + 0,001 | 3 | ,65 | − 0,009 | 1u |
| | 67,981 | 4 | 23 | 5 | ,99 | − 0,009 | 5 | ,97 | + 0,01 | 1 |
| | 98,186 | 3 | 23 | 4 | ,19 | − 0,004 | 5 | ,19 | − 0,004 | 1 |
| | 4107,495 | 6 | 25 | 5 | ,50 | − 0,005 | 5 | ,49 | + 0,005 | 2 |
| | 9,810 | 5 | 21 | 5 | ,81 | 0,000 | 5 | ,80 | + 0,01 | 2 |

## Tabelle 7.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3000,447 | 3 | ±0,0026 | 5 | ,44 | + 0,007 | 4 | ,47 | − 0,02 | 1 |
| 42,030 | 4 | 26 | 5 | ,03 | 0,000 | 4 | ,01 | + 0,02 | 1 |
| 78,035 | 2 | 26 | 3 | ,02 | + 0,02 | 3 | — | — | — |
| 3112,087 | 1 | 26 | 2 | ,06 | + 0,03 | 3 | — | — | — |
| 29,339 | 3 | 28 | 4 | ,30 | + 0,04 | 3 | — | — | — |
| 42,457 | 4u | 3 | 3 | ,44 | + 0,02 | 4 | — | — | — |
| 51,341 | 4 | 26 | 3 | ,34 | + 0,001 | 5 | ,37 | − 0,03 | 1u |
| 53,246 | 3 | 3 | 3 | — | — | — | ,20 | + 0,05 | 1u |
| 80,757 | 2 | 27 | 2 | ,73 | + 0,03 | 3 | — | — | — |

Tabelle 7 (Fortsetzung).

| | λ | I | Δ | n | K | λ − K | $I_K$ | E. u. H. | Δλ | $I_F$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3188,841 | 5 | ±0,0026 | 4 | ,81 | + 0,03 | 3 | ,85 | − 0,009 | 1 | |
| | 92,806 | 4 | 28 | 3 | ,80 | + 0,006 | 2 | ,87 | − 0,06 | 2u | |
| | 3200,477 | 6 | 26 | 3 | ,46 | + 0,02 | 5 | ,50 | − 0,02 | 1 | |
| | 9,338 | 3 | 3 | 3 | ,30 | + 0,04 | 3 | ,33 | + 0,008 | 1 | |
| | 10,849 | 5u | 27 | 2 | ,82 | + 0,03 | 3 | ,86 | − 0,01 | 1 | |
| | 14,050 | 4 | 27 | 2 | ,06 | − 0,01 | 2 | ,07 | − 0,02 | 2 | |
| | 14,413 | 2 | 28 | 3 | ,39 | + 0,02 | 2 | ,42 | − 0,007 | 1 | |
| | 15,946 | 5 | 26 | 3 | ,93 | + 0,02 | 5 | ,92 | + 0,03 | 2 | |
| | 17,396 | 4 | 28 | 3 | ,38 | + 0,02 | 5 | ,37 | + 0,03 | 1 | |
| | 28,913 | 3 | 26 | 2 | — | — | — | — | — | — | |
| | 33,977 | 5 | 28 | 4 | ,97 | + 0,007 | 4 | ,98 | − 0,003 | 1 | |
| | 46,006 | 4 | 29 | 3 | ,01 | − 0,004 | 3 | 5,95 | + 0,06 | 1 | |
| | 57,604 | 3 | 3 | 3 | ,58 | + 0,02 | 4 | ,56 | + 0,04 | 1 | |
| | 76,491 | 4 | 26 | 3 | ,45 | + 0,04 | 2 | — | — | — | |
| | 90,999 | 4 | 28 | 4 | ,98 | + 0,02 | 4 | 1,00 | − 0,001 | 1 | |
| | 92,024 | 5 | 29 | 4 | ,02 | + 0,004 | 5 | ,02 | + 0,004 | 1 | |
| | 3336,263 | 1 | 3 | 3 | ,24 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 59,499 | 1 | 28 | 2 | ,49 | + 0,009 | 1 | — | — | — | |
| | 3403,315 | 1 | 3 | 2 | ,33 | − 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 9,218 | 2 | 27 | 2 | ,20 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 31,827 | 3 | 3 | 4 | ,83 | − 0,003 | 3 | ,85 | − 0,02 | 1u | |
| | 46,276 | 1 | 3 | 3 | — | — | — | — | — | — | Ni |
| | 62,813 | 1 | 26 | 4 | — | — | — | — | — | — | |
| | 77,014 | 1 | 28 | 2 | 6,98 | + 0,03 | 1 | — | — | — | |
| | 89,410 | 1 | 28 | 4 | — | — | — | — | — | — | Fe, Co |
| | 3502,291 | 2 | 3 | 2 | — | — | — | — | — | — | Fe, Co |
| | 9,869 | 2 | 26 | 4 | ,85 | + 0,02 | 2 | — | — | — | |
| | 18,873 | 2 | 26 | 3 | ,86 | + 0,01 | 2 | — | — | — | |
| | 20,861 | 1 | 3 | 3 | ,85 | + 0,01 | 1 | — | — | — | |
| | 22,262 | 3 | 27 | 4 | ,27 | − 0,008 | 2 | ,25 | + 0,01 | 1u | |
| | 32,983 | 1 | 28 | 4 | 3,00 | − 0,02 | 3 | ,97 | + 0,01 | 1u | |
| | 44,630 | 4 | 27 | 3 | ,62 | + 0,01 | 2 | — | — | — | |
| | 75,373 | 4 | 3 | 4 | ,35 | + 0,02 | 3 | ,36 | + 0,01 | 2 | |
| | 77,875 | 1 | 27 | 4 | — | — | — | — | — | — | |
| | 78,683 | 2 | 28 | 4 | — | — | — | — | — | — | Cr |
| | 3617,327 | 1 | 26 | 4 | ,31 | + 0,02 | 1 | ,30 | + 0,03 | 1 | |
| | 23,784 | 1u | 29 | 5 | ,78 | + 0,004 | 1 | — | — | — | Mn |
| | 78,854 | 2 | 28 | 5 | ,85 | + 0,004 | 2 | ,84 | + 0,01 | 1 | |
| | 87,652 | 2 | 26 | 5 | ,64 | + 0,01 | 4 | ,62 | + 0,03 | 1u | |
| | 95,048 | 3 | 28 | 4 | ,04 | + 0,008 | 3 | ,05 | − 0,002 | 2 | |
| | 3701,078 | 2 | 27 | 5 | ,08 | − 0,002 | 4 | ,09 | − 0,01 | 2 | |
| | 2,025 | 2 | 3 | 4 | ,02 | + 0,005 | 2 | ,03 | − 0,005 | 1 | |
| | 3,559 | 3 | 26 | 5 | ,53 | + 0,03 | 3 | ,55 | + 0,009 | 1 | |
| | 7,914 | 6 | 26 | 5 | ,91 | + 0,004 | 4 | ,88 | + 0,03 | 4 | |
| R | 43,390 | 4 | 3 | 2 | ,37 | + 0,02 | 3 | ,37 | + 0,02 | 6 | |
| | 77,449 | 1 | 29 | 3 | ,42 | + 0,03 | 2 | ,39 | + 0,06 | 1u | |
| | 86,173 | 2 | 27 | 6 | ,16 | + 0,01 | 3 | ,15 | + 0,02 | 2 | |
| | 3802,289 | 1 | 3 | 2 | — | — | — | — | — | — | |
| | 21,836 | 2 | 27 | 6 | ,83 | + 0,006 | 2 | ,80 | + 0,04 | 1 | |
| | 61,335 | 2 | 26 | 6 | ,33 | + 0,005 | 3 | ,40 | − 0,005 | 1 | |
| | 69,566 | 2 | 27 | 4 | ,57 | − 0,004 | 3 | ,60 | − 0,03 | 1 | |
| | 3878,523 | 3 | ±0,0027 | 5 | ,57 | − 0,04 | 2 | — | — | — | |
| | 88,817 | 1 | 28 | 5 | ,81 | + 0,007 | 3 | ,82 | − 0,003 | 1u | |
| | 91,929 | 2 | 26 | 4 | ,92 | + 0,009 | 3 | ,94 | − 0,01 | 1 | |
| | 99,030 | 3 | 3 | 5 | ,02 | + 0,01 | 2 | ,02 | + 0,01 | 1u | |
| | 3947,005 | 2 | 26 | 4 | 6,99 | + 0,02 | 2 | ,00 | + 0,005 | 1u | |

Fortsetzung folgt in Heft 7.

## Das Bogenspektrum des Eisens. Fortsetzung.

Von

Dr. K. Burns.

Als Fortsetzung einer früheren, in dieser Zeitschrift[1]) veröffentlichten Arbeit ist die vorliegende Untersuchung mit den gleichen Apparaten ausgeführt und die Messungen nach derselben Weise gemacht worden. Nur die Reduktion der Messungen wurde etwas anders gestaltet.

Tabelle 1.

Verzeichnis der Platten.

| λ | Expositionsdauer in Min. | Stromstärke in Amp. | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| 5434—5789 | 10 | 7,0 | |
| 5434—5789 | 45 | 7,0 | |
| 5434—5789 | 120 | 7,0 | |
| 5554—5731 | 30 | 6,0 | Ba |
| 5615—6003 | 100 | 7,0 | Ba |
| 5615—6003 | 120 | 6,5 | Ba, Ni |
| 5434—5658 | 25 | 5,0 | |
| 5434—5789 | 120 | 7,5 | |
| 5859—6355 | 20 | 7,0 | Ba |
| 5791—6437 | 75 | 7,0 | Ba |
| 5975—6750 | — | 7,0 | 2 |
| 5975—6750 | 90 | 7,0 | 2, Ba |
| 6003—6693 | 25 | 7,0 | Ba |
| 6414—7320 | 180 | 7,0 | Ba |
| 6419—6855 | 90 | 7,0 | Ba |
| 6411—7307 | 90 | 7,0 | Ba |
| 6430—7090 | 30 | 7,0 | Ba |
| 6786—6945 | 120 | 7,0 | Ba |
| 6945—7780 | 240 | 7,0 | 2, Ba |
| 6945—7511 | 10 | 7,0 | |
| 7459—7771 | 60 | 7,0 | 2, C, Ba |
| 7459—8085 | 240 | 7,0 | 2, Ba |
| 8028—8824 | 360 | 7,0 | Ba |

In der mit Bemerkungen überschriebenen Kolumne bedeutet 2, daß die Platte zweimal gemessen ist; Ba bedeutet, daß dies Element in den Bogen eingeführt war; Ni, daß eine Elektrode aus Nickel bestand; C, daß eine Elektrode Kohle war. Die ersten sechs Platten sind in der zweiten Ordnung aufgenommen, die übrigen in der ersten Ordnung. In allen Fällen wurden die höheren Ord-

nungen absorbiert durch eine Zelle von 1 cm Dicke, welche chromsaures Kali enthielt. Wenn eine Nickelelektrode benutzt wurde, um die Nickelnormalen zu geben, so wurde die Stromrichtung jede halbe Stunde umgekehrt, so daß jede Elektrode etwa während der halben Zeit Anode war. Bei Aufnahme der drittletzten Platte wurde eine Kohleelektrode verwandt, welche in einer Bohrung reichliche Mengen von Chlorbarium enthielt. In allen anderen Fällen wurden die Elektroden nur mit einer Lösung von Chlorbarium befeuchtet.

Die Elektroden bestanden aus käuflichem Eisen, es waren Stäbe von 8 mm Durchmesser. Der Strom entstammte einer Batterie von 90 V.; die Bogenlänge betrug etwa 6 mm, die Spaltweite 0,025 mm. Das Bild der Elektroden war durch einen Schirm abgeblendet, aber das Licht aller Teile des Bogens konnte eintreten; wegen des Astigmatismus der Gitter wurden also die Linien durch ein Gemisch der Lichtarten von allen Teilen des Bogens gebildet.

Die Schärfe ist für den größten Teil der Platten befriedigend; nur auf den Platten, welche länger als 2 Stunden exponiert wurden, sind die Linien manchmal verbreitert. Der Grund dafür ist von Dr. Holtz[2]) besprochen.

Durch Benutzung schwacher und starker Normalen ließ sich die Frage nach einer Intensitätsgleichung behandeln. Eine Platte mit langer Expositionszeit zeigte einen ziemlich großen Fehler dieser Art; die übrigen, welche gute Schärfe besaßen, ließen keine sichere Andeutung der Erscheinung erkennen. Die Platten mit größerer Wellenlänge als 7800 A. waren zu dürftig, als daß sie eine Untersuchung dieser Wirkung gestattet hätten.

Photographische Platten. Die meisten Platten waren solche von Schleußner mit gelbem Schild; sie wurden in folgender Lösung gebadet:

| | | |
|---|---|---|
| Pinaverdol . | 2,1 | ccm |
| Pinacyanol . | 2,7 | „ |
| Dicyanin . . | 3,0 | „ |
| Ammoniak . | 12 | „ |
| Wasser . . . | 125 | „ |
| Alkohol . . . | 95 | „ |

Dies ist im wesentlichen das Drei-Farben-Rezept von Wallace[3]), nur daß Dicyanin an Stelle von Homocol gesetzt ist. Ich habe inzwischen gefunden, daß man für die Gegend 6500—8900 A. ein

besseres Farbbad erhält, wenn man nur Dicyanin in doppelter Menge nimmt, die anderen Farbstoffe fortläßt.

Normalen[4]). Alle Eisenlinien, welche mit dem Interferometer gemessen sind, wurden als Normalen benutzt; die nur von einem Beobachter gegebenen erhielten bei der Reduktion das halbe Gewicht. In dem Gebiet 5780 bis 6000 A. sind die Normalen recht ungenügend, aber die Eisennormalen sind für die Reduktion des Eisenspektrums doch besser, als die von Ni oder Ba.

Messung und Reduktion. Die Messung wurde ausgeführt, wie früher beschrieben, die Reduktion aber etwas anders vorgenommen. Da Normalen in ziemlich kleinen Abständen vorhanden waren, schien es am besten, jede Platte für sich allein zu reduzieren. Es standen auch so schwache Normalen zur Verfügung, daß sie auf den dichtesten Platten nicht zu stark exponiert waren. Bei jeder Platte wurden für jedes Stück, welches mit einem Male auf der Teilmaschine gemessen werden konnte, die Wellenlängen aus zwei Normalen berechnet. Dann wurde für jedes Stück mit den Differenzen zwischen den berechneten und bekannten Normalen eine Kurve gezeichnet, und nach ihr die Wellenlängen auf internationales Maß reduziert. Die Bemerkungen über Intensitätsschätzung, die in der vorigen Abhandlung gemacht sind, gelten auch für diese.

Verunreinigungen wurden wie früher eliminiert. Die hauptsächliche Verunreinigung war aus dem Eisen stammendes Mn; Nickellinien fanden sich nur, wenn eine Elektrode aus Nickel bestand. Da Ba in den Bogen gebracht war, wurden natürlich viele Ba-Linien gemessen. Da Mangan eine so häufige Verunreinigung des Eisenspektrums bildet, gebe ich eine Liste aller seiner Linien, die ich zweimal oder öfter gemessen habe. Diese Wellenlängen entsprechen also dem Fall, daß eine Spur Mn sich im Eisenbogen befindet; bringt man viel Mn in den Kohlebogen, so kann man in einzelnen Fällen weit abweichende Werte erhalten. Die Unreinheit des Eisens ist sehr störend; wenn ich die Arbeit wiederholen sollte, so würde ich das reinste Eisen nehmen, das ich erhalten kann. Es ist sehr wahrscheinlich, daß einige Eisenlinien durch sehr nahe liegende Linien von Verunreinigungen beeinflußt worden sind. Es ist auch möglich, daß ich einige Linien von Verunreinigungen als Eisenlinien aufgeführt habe, namentlich in der Gegend 7200 bis 8800 A., wo die Messungen für Ba, Ni, Mn unvollständig sind oder ganz fehlen.

Die Fertigstellung dieser Eisentabellen erlaubt die Vergleichung der Wellenlängen einiger Linien von Verunreinigungen mit den Messungen anderer Beobachter. In Betracht kommen nur Ni, Ba und Mn, die nach dem internationalen System gemessen worden sind.

Nickel. Meine Messungen sind nicht umfangreich genug für eine Vergleichung der Wellenlängen, die auftreten, wenn eine Nickel- und eine Eisenelektrode gebraucht wird, mit denen, die bei zwei Nickelelektroden gemessen werden. Aber es ist sehr deutlich, daß Ni-Linien, die mit einer Eisenelektrode erhalten sind, als Normalen ungeeignet sind, da sie ganz diffus erscheinen. Dr. Goos[5]) benutzte so erzeugte Linien bei der Reduktion seiner Platten, und vielleicht beruht darauf, wenigstens zum Teil, die systematische Differenz zwischen den Messungen von Goos und mir in dem Teil des Spektrums, wo diese Linien liegen.

Barium. Wie eben erwähnt, wurde bei der Photographie der Gegend 5800—8800 A. eine kleine Menge Ba in den Eisenbogen gebracht. In allen Fällen sind die Wellenlängen der Ba-Linien im Eisenbogen kleiner als die im Kohlebogen, welche Schmitz[6]) gemessen hat. Die mittlere Differenz, Burns-Schmitz, beträgt —0,015 A., was bei weitem zu groß ist, als daß es durch Messungsfehler erklärbar wäre. Die gleiche Erscheinung ergibt sich bei der Vergleichung meiner Ba-Messungen im Eisenbogen mit denen von Eversheim im Kohlebogen, wobei beide Beobachter das Interferometer benutzten.

Mangan. Eine Vergleichung der vortrefflichen Messungen von Kilby[7]) mit den Werten der Manganlinien, welche ich im Eisenbogen als Verunreinigungen gemessen habe, zeigt, daß eine entschiedene systematische Differenz zwischen den beiden Reihen besteht. Einige wenige Mn-Linien im Eisenbogen sind im Vergleich zu den Linien im Kohlebogen nach Violett verschoben. Aber gut drei Viertel aller Linien haben im Eisenbogen größere Wellenlänge. Einige von den Differenzen lassen sich durch Zusammenfallen der Mn-Linien mit schwachen Fe-Linien erklären, aber dieser Fehler könnte keine systematische Verschiebung hervorrufen. In der Gegend 4700—4800 A. haben beide Beobachter Mn-Linien als Normalen benutzt, und daher stimmen die Resultate natürlich überein. Der deutlichste Beweis für eine Änderung der Wellenlänge, wenn man vom Eisenbogen zum Kohlebogen übergeht, wird durch das Triplet 6013, 6016, 6021 geliefert. Die Wellenlängen dieser Linien, die

ich im Eisenbogen sowohl in Bonn mit dem Gitter als auch in Marseille mit dem Interferometer gemessen habe, sind um 0,030 A. größer, als die Werte, welche Kilby für den Kohlebogen findet. Dadurch erhebt sich die Frage, ob nicht die Wellenlänge sich mit der Lichtquelle verändern, und so lange diese Frage nicht erledigt ist, scheint es mir nicht richtig, Mn-Normalen bei der Reduktion der Messungen im Eisenspektrum zu benutzen.

Eine genaue Vergleichung der vorliegenden Tabelle von Eisenlinien mit den Resultaten anderer Beobachter ist nicht nötig. Es genügt zu sagen, daß meine Messungen ziemlich gut übereinstimmen mit denen von Goos[8]), in den Teilen des Spektrums, wo wir die gleichen Normalen benutzt haben. Was die Messungen von St. John und Ware[9]) betrifft, so ist die Übereinstimmung ihrer Resultate für Mt. Wilson mit den meinigen vortrefflich; wo sie Unterschiede der Werte für Mt. Wilson und Pasadena finden, stimme ich mit ersteren, nicht mit letzteren überein.

Die Ansicht, welche ich in der vorigen Abhandlung über das Eisenspektrum aussprach, daß mehr Normalen mit dem Interferometer bestimmt werden müßten, ist durch die Arbeit im langwelligen Teile wesentlich bestärkt worden. Es ist jetzt meine Meinung, daß das ganze Programm für Messung von Normalen dritter Ordnung zu ersetzen sei durch den Beschluß, Normalen zweiter Ordnung im Abstand von 10 A. im ganzen Spektrum zu messen, so weit das möglich ist. Zwischen 5000 und 8900 A. sollte jede gute Linie mit Interferometer gemessen werden, für das übrige Spektrum sowohl schwache als starke Linien. Meine Arbeiten mit beiden Instrumenten haben mir gezeigt, daß die Messung mit dem Interferometer wenig mehr Arbeit verursacht, als die mit dem Konkavgitter. Und das Interferometer hat manche Vorteile für sich, deren wichtigster ist, daß keine Messung von einer benachbarten Normale beeinflußt wird, die veränderlich sein kann. Bei der Messung einer Linie mit dem Gitter dürfen die Normalen nicht mehr als 100 A. entfernt sein, wenn große Genauigkeit verlangt wird; bei Messung mit dem Interferometer kann jede beliebige Normale benutzt werden, z. B. die erster Ordnung.

Die Zahl der zwischen 5434 und 8825 A. gemessenen Linien ist ziemlich klein. Das mag davon kommen, daß ich gesucht habe, alle Linien des Bandenspektrums zu vermeiden, und dabei vielleicht manche schwache Eisenlinie ausgelassen habe. Alle schwachen Paare und Triplets habe ich weggelassen, da solche in Banden-

spektren häufig auftreten; trotzdem werde ich zweifellos einige Bandenlinien aufgenommen haben. Eine genügende Messung der schwachen Eisenlinien wird durch die Anwesenheit der Bandenlinien sehr erschwert, da bei lange exponierten Platten im roten und gelben Teil durchschnittlich 3 Bandenlinien pro Angströmeinheit vorhanden sind.

Einige Linien, welche ich seinerzeit Prof. Kayser angab und welche im VI. Bande des Handbuchs abgedruckt sind, fehlen in der jetzigen Tabelle, da ich gefunden habe, daß sie zu Verunreinigungen gehören oder ganz oder teilweise Geister sind. Dr. Geiger[10]) hat mit kleinerer Dispersion einige Linien im Ultrarot gemessen, welche ich nicht fand, wahrscheinlich weil sie auf meinen Platten zu schwach waren. Einige Linien meiner Tabelle, welche bei Geiger fehlen, mögen zu Verunreinigungen gehören.

Die Anmerkungen haben die gleiche Bedeutung, wie in der vorigen Abhandlung.

Diese Untersuchung wurde mir ermöglicht durch eine Unterstützung aus der Martin Kellogg-Stiftung des Lick Observatoriums, Universität von Californien.

Gern spreche ich meinen Dank an Geh. Reg.-Rat Prof. Kayser aus für sein Interesse und seine Unterstützung; auch Prof. Eversheim bin ich großen Dank schuldig.

## Anmerkungen zu der Tabelle.

1) Bandenkopf.

2) Von Geiger nicht beobachtet.

3) In meiner früheren Angabe ist diese Wellenlänge durch einen Druckfehler entstellt.

4) Obgleich diese Linie auch von Geiger geführt wird, glaube ich, daß sie zu Ba gehört oder zu einer Verunreinigung, die mit Ba in den Bogen gelangte.

5) Diese Linie wird von Geiger als Fe geführt und Hermann hat sie nicht bei Ba beobachtet. Trotzdem glaube ich, daß sie zu Ba oder einer Verunreinigung desselben gehört.

6) Diese Werte sind mit Interferometer erhalten.

## Tabelle 2.

## Das Spektrum des Eisenbogens.

| λ I. A. | Bemerk. | w. F. | λ I. A. | Bemerk. | w. F. | λ I. A. | Bemerk. | w. F. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5434,527 | 6 | A | 5602,965 | 3 | B | 5760,351 | 1 | B |
| 36,594 | 2 | E | 15,308 | 2 | D | 62,434 | 1 | D |
| 45,040 | 2 u | C | 15,663 | 6 | C | 63,015 | 4 | A |
| 46,922 | 6 | A | 18,646 | 1 | B | 75,095 | 3 | C |
| 55,435 | 2 | D | 19,60 | 1 | F | 78,47 | 1 | E |
| 55,617 | 6 | A | 20,527 | 1 | D | 80,621 | 2 | C |
| 62,964 | 2 b | C | 21,28 | 1 | E | 80,83 | 1 | E |
| 63,27 | 4 b | D | 24,056 | 1 | D | 82,15 | 1 b Fe, Cu | E |
| 64,286 | 1 | C | 24,563 | 5 | B | 84,69 | 1 | E |
| 66,417 | 3 | C | 30,37 | 1 | E | 85,29 | 1 b | E |
| 66,993 | 1 | D | 33,970 | 2 | D | 89,643 | 2[1]) | B |
| 72,720 | 1 | D | 35,85 | 1 | D | 91,044 | 2 | C |
| 73,913 | 3 | C | 36,708 | 1 | D | 93,34 | 1 | E |
| 76,296 | 2 | B | 37,41 | 1 | D | 93,932 | 2 | C |
| 76,582 | 4 | C | 38,278 | 3 | B | 95,69 | 1 | F |
| 78,48 | 1 | D | 41,464 | 2 | D | 96,10 | 1 | E |
| 80,872 | 2 | C | 43,99 | 1 u | F | 98,194 | 2 | B |
| 81,252 | 2 | C | 49,66 | 1 | F | 5804,06 | 1 | E |
| 83,111 | 1 | D | 50,01 | 1 | E | 06,727 | 2 | D |
| 87,16 | 1 | F | 50,71 | 1 | E | 09,249 | 2 | C |
| 87,78 | 3 | D | 52,32 | 1 | E | 11,93 | 1 | E |
| 93,508 | 1 | D | 53,91 | 1 b | E | 14,80 | 1 | D |
| 94,468 | 1 | E | 55,170 | 2 | D | 15,16 | 1 | E |
| 97,521 | 4 | A | 55,506 | 2 | B | 16,36 | 3 | D |
| 5501,471 | 4 | B | 58,542 | 1 | C | 24,84 | 1 | E |
| 03,08 | 1 u | D | 58,836 | 4 | A | 25,695 | 2 | D |
| 06,785 | 4 | A | 62,533 | 3 | B | 26,57 | 1 | E |
| 12,277 | 1 | C | 62,94 | 1 | D | 28,48 | 1 | D |
| 22,46 | 2 | D | 67,533 | 2 | C | 29,550 | 1 | C |
| 25,552 | 2 | D | 77,05 | 1 | E | 30,58 | 1 | E |
| 32,752 | 1 | D | 79,023 | 2 | C | 30,80 | 1 | D |
| 35,423 | 2 | C | 86,25 | 1 | F | 31,69 | 1 Ni? | E |
| 38,54 | 1 | D | 86,532 | 3 | D | 32,074 | 1 | D |
| 43,184 | 2 | D | 91,509 | 1 | C | 32,86 | 1 | E |
| 43,951 | 2 | C | 93,638 | 2 | A | 34,05 | 1 | E |
| 46,512 | 1 | C | 5701,555 | 3 | A | 34,78 | 1 | E |
| 53,586 | 1 | D | 04,72 | 1 | F | 35,28 | 1 | D |
| 54,879 | 3 b | D | 05,48 | 1 | D | 36,57 | 1 | D |
| 57,954 | 1 u | E | 05,988 | 2 | C | 37,29 | 1 | E |
| 60,230 | 1 | C | 07,068 | 1 | D | 37,709 | 1 | C |
| 62,712 | 2 | C | 08,109 | 1 | D | 37,94 | 1 | D |
| 63,609 | 3 | B | 09,395 | 3 | A | 42,478 | 2 | C |
| 65,703 | 3 | C | 11,867 | 2 | B | 44,144 | 1 | C |
| 67,401 | 2 | C | 12,150 | 2 | C | 45,88 | 2 | D |
| 69,631 | 5 | A | 14,155 | 1 | D | 53,18 | 1 | E |
| 72,857 | 5 | A | 15,107 | 1 | B | 54,45 | 1 | D |
| 73,10 | 1 | E | 17,848 | 3 | B | 55,126 | 1 | C |
| 76,106 | 4 | A | 31,775 | 3 | B | 56,084 | 2 | C |
| 84,768 | 1 | C | 41,861 | 2 | D | 57,134 | 1 | D |
| 86,772 | 6 | A | 47,95 | 1 | D | 59,20 | 1 | D |
| 87,582 | 1 | C | 48,64 | 1 | E | 59,612 | 3 b | C |
| 94,661 | 2 | D | 52,035 | 2 | D | 62,351 | 4 b | D |
| 98,306 | 3 | C | 53,145 | 3 | C | 69,759 | 1 | C |
| 5600,242 | 1 | D | 54,41 | 1 | E | 71,04 | 1 | E |
| 02,788 | 2 | C | 56,78 | 1 | E | 71,27 | 1 | D |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| λ I. A. | Bemerk. | w. F. | λ I. A. | Bemerk. | w. F. | λ I. A. | Bemerk. | w. F. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5872,918 | 1 | C | 6024,062 | 4 u | C | 6229,234 | 1 | C |
| 73,211 | 2 | D | 27,061 | 2 | B | 30,732 | 5 | C |
| 75,38 | 1 u | E | 32,67 | 1 | E | 32,667 | 2 | B |
| 77,99 | 2 b d | E | 42,085 | 2 | B | 36,644 | 1 | C |
| 79,773 | 2 | C | 55,991 | 3 u | B | 37,21 | 1 | E |
| 80,00 | 2 b d | E | 62,89 | 1 | E | 40,652 | 2 | C |
| 83,842 | 4 | B | 65,496 | 4 | B | 41,707 | 1 | D |
| 95,48 | 1 | E | 78,482 | 3 | B | 43,86 | 1 | E |
| 5902,52 | 1 | E | 79,02 | 1 u | D | 45,84 | 1 | E |
| 05,677 | 2 | D | 82,718 | 1 | A | 46,344 | 4 g coin | A |
| 08,24 | 2 | E | 85,267 | 1 | C | 49,52 | 1 u Co? | E |
| 08,40 | 1 | E | 89,567 | 1 | C | 51,42 | 1 | E |
| 10,59 | 1 | E | 93,090 | 1 Co? | C | 52,567 | 4 | B |
| 11,20 | 1 b d | E | 93,66 | 1 b | E | 54,266 | 3 | B |
| 12,83 | 2 | E | 95,116 | 1 | C | 55,955 | 1 | C |
| 13,04 | 1 | E | 95,53 | 1 | E | 56,371 | 3 | A |
| 14,16 | 6 | D | 96,689 | 1 | D | 60,56 | 1 | D |
| 16,250 | 3 | A | 6102,185 | 3 | B | 61,018 | 1 | D |
| 17,80 | 1 | E | 03,196 | 2 u | B | 62,75 | 1 | E |
| 20,520 | 2 | C | 09,318 | 1 | C | 65,145 | 3 | A |
| 23,06 | 1 | E | 12,720 | 1 b | C | 69,72 | 1 | E |
| 26,20 | 1 | E | 16,25 | 1 | E | 70,229 | 2 | A |
| 27,798 | 2 b d | C | 27,919 | 2 | C | 76,958 | 1 | D |
| 30,177 | 5 | D | 34,06 | 1 | E | 78,56 | 1 | D |
| 31,72 | 1 | E | 36,624 | 4 | C | 80,622 | 2 | B |
| 33,08 | 1 | E | 37,005 | 2 | D | 83,05 | 1 | E |
| 34,679 | 4 | A | 37,704 | 4 | B | 90,968 | 3 b | C |
| 37,12 | 1 | E | 44,40 | 1 | E | 95,254 | 1 | C |
| 38,43 | 2 b | E | 51,630 | 2 | D | 97,803 | 3 | A |
| 38,760 | 1 | C | 57,733 | 2 | C | 6301,524 | 5 | C |
| 39,21 | 2 | D | 63,560 | 1 | C | 02,512 | 3 | C |
| 40,972 | 2 | C | 65,370 | 2 | B | 03,46 | 1 u | E |
| 46,60 | 1 | E | 70,499 | 2 b | C | 06,06 | 1 | E |
| 49,35 | 2 | D | 73,346 | 2 | A | 11,506 | 1 | D |
| 52,39 | 1 | E | 80,216 | 2 | C | 15,317 | 3 | C |
| 52,749 | 4 | B | 80,512 | 1 | C | 15,814 | 2 | A |
| 56,700 | 3 | D | 83,75 | 1 | E | 18,027 | 4 | A |
| 62,93 | 1 | E | 84,12 | 1 | E | 22,696 | 3 | B |
| 63,25 | 1 | E | 84,53 | 1 | E | 30,86 | 1 u | E |
| 63,91 | 1 | E | 88,037 | 2 l d | D | 35,341 | 4 | A |
| 69,54 | 2 | E | 88,75 | 1 | E | 36,844 | 4 | B |
| 75,350 | 2 | B | 91,568 | 5 | A | 38,896 | 1 u | D |
| 76,803 | 2 | B | 6200,322 | 2 | B | 44,159 | 2 | C |
| 83,708 | 2 u | C | 03,92 | 1 | E | 55,038 | 3 | B |
| 84,809 | 3 | C | 07,262 | 1 | D | 58,684 | 3 | A |
| 87,061 | 2 | C | 08,426 | 1 | C | 60,44 | 1 | E |
| 88,24 | 1 | E | 09,59 | 1 | E | 62,889 | 2 | C |
| 97,808 | 1 u | C | 10,796 | 1 | C | 64,384 | 1 | C |
| 99,950 | 1 | C | 12,04 | 1 | E | 64,717 | 1 | C |
| 6003,038 | 3 | B | 13,440 | 3 | A | 80,751 | 3 | B |
| 05,15 | 1 | E | 15,151 | 2 | C | 83,32 | 1 | E |
| 05,53 | 1 | E | 17,288 | 1 | D | 85,61 | 1 Mn? | E |
| 07,965 | 2 u | B | 19,290 | 3 | B | 87,245 | 1 g coin | A |
| 08,583 | 3 | B | 20,78 | 1 | E | 92,534 | 1 | C |
| 18,02 | 1 | D | 21,40 | 1 | E | 93,609 | 5 | B |
| 20,06 | 2 U Fe? | E | 26,77 | 1 | D | 6400,021 | 5 | D |
| 20,177 | 2 l | C | 27,259 | 1 | D | 00,335 | 2 | C |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| λ I. A. | Bemerk. | w. F. |
|---|---|---|
| 6408,044 | 4 | B |
| 10,80 | 1 | E |
| 11,674 | 5 | C |
| 19,988 | 3u | D |
| 21,361 | 4 | B |
| 24,000 | 1 | D |
| 28,079 | 1 | C |
| 28,80 | 1 | E |
| 30,859 | 5 | A |
| 36,43 | 1 | E |
| 38,79 | 1 | E |
| 50,99 | 1 | E |
| 51,58 | 2 | E |
| 56,39 | 1 | E |
| 62,737 | 4 | A |
| 69,216 | 4 | B |
| 74,61 | 1 | E |
| 75,635 | 3 | B |
| 77,36 | 1 | E |
| 80,45 | 1 | E |
| 81,881 | 3 | B |
| 94,993 | 5 | C |
| 95,796 | 2 | C |
| 96,462 | 3 | D |
| 98,950 | 2 | C |
| 6501,681 | 2 | C |
| 07,95 | 1 | E |
| 08,72 | 1 | E |
| 09,56 | 1 | E |
| 16,08 | 1 | E |
| 18,380 | 3 | B |
| 24,16 | 1 | E |
| 28,53 | 1 | E |
| 29,04 | 1 | E |
| 33,97 | 3 | D |
| 46,251 | 5 | B |
| 49,23 | 1 | E |
| 64,30 | 1 | E |
| 66,80 | 1 | E |
| 69,233 | 5u | C |
| 73,10 | 1 | E |
| 74,238 | 2 | D |
| 75,028 | 3 | B |
| 81,22 | 2 | E |
| 91,32 | 2 | E |
| 92,928 | 5 | B |
| 93,881 | 3 | B |
| 97,607 | 3 | D |
| 6604,67 | 1 | E |
| 05,39 | 1 | E |
| 08,03 | 2 | E |
| 09,124 | 4 | A |
| 09,56 | 1 | E |
| 25,04 | 1 | E |
| 27,563 | 3 | C |
| 33,772 | 3 | C |
| 46,44 | 1 | E |
| 6646,98 | 1 | E |
| 53,88 | 1 Ba? | E |
| 63,26 | 1 | E |
| 63,452 | 4 | B |
| 67,73 | 1 | E |
| 78,001 | 5 | A |
| 99,14 | 1 | E |
| 6703,570 | 2 | D |
| 05,139 | 3 | D |
| 10,31 | 1 | E |
| 13,14 | 3 | E |
| 13,76 | 1 | E |
| 15,410 | 3 | D |
| 16,24 | 2 | E |
| 17,556 | 2 | D |
| 25,39 | 2[2]) | E |
| 26,668 | 3[3]) | D |
| 29,02 | 1[2]) | F |
| 32,06 | 1[2]) | E |
| 33,171 | 3 | C |
| 38,08 | 1 U[2]) | F |
| 39,54 | 1[2]) | E |
| 45,11 | 1[2]) | E |
| 50,163 | 4 | A |
| 52,734 | 3 | D |
| 55,609 | 2[2]) | D |
| 77,44 | 1[2]) | E |
| 83,71 | 1[2]) | E |
| 86,88 | 2 | D |
| 93,26 | 1[2]) | E |
| 96,11 | 2 | E |
| 6804,020 | 2 | C |
| 04,27 | 2 | E |
| 06,859 | 2 | D |
| 10,28 | 4 | D |
| 28,614 | 3 | C |
| 33,24 | 1[2]) | E |
| 38,86 | 2 | E |
| 39,828 | 2 | D |
| 41,362 | 4 | D |
| 42,668 | 2u[2]) | C |
| 43,685 | 4 | C |
| 54,82 | 1 | E |
| 55,183 | 4 | C |
| 55,74 | 1 | E |
| 57,25 | 2[2]) | D |
| 58,173 | 3 | D |
| 60,29 | 1[2]) | E |
| 61,93 | 2[2]) | E |
| 62,481 | 2 | C |
| 75,45 | 1[2]) | E |
| 75,98 | 1[2]) | E |
| 80,65 | 1[2]) | E |
| 85,77 | 3 | D |
| 98,31 | 1 | E |
| 6902,80 | 2 | E |
| 11,52 | 1[2]) | E |
| 6916,710 | 3 | C |
| 30,64 | 1[2]) | E |
| 33,632 | 2 | D |
| 45,215 | 4 | A |
| 47,501 | 1 | D |
| 51,278 | 3 | C |
| 60,334 | 1[2]) | D |
| 71,95 | 1 | D |
| 75,46 | 1 U[2]) | D |
| 76,306 | 1 | D |
| 76,934 | 1 | C |
| 77,445 | 1 | C |
| 78,864 | 3 | B |
| 88,541 | 2 | D |
| 99,928 | 3 | C |
| 7000,633 | 1 | D |
| 08,014 | 2 | D |
| 10,362 | 1[2]) | B |
| 11,364 | 2 | C |
| 16,075 | 2 | C |
| 16,436 | 3 | C |
| 23,003 | 3 | C |
| 23,49 | 1 g coin Ba? | F |
| 24,084 | 1 | C |
| 24,649 | 2 | C |
| 27,60 | 1[2]) | E |
| 38,271 | 3 | D |
| 38,818 | 1 | C |
| 60,94 | 1[2]) | E |
| 67,44 | 1[2]) | E |
| 68,422 | 3 | B |
| 71,88 | 1u | D |
| 83,396 | 1u | C |
| 86,76 | 1 | D |
| 90,417 | 3 | C |
| 95,447 | 2u | C |
| 7107,486 | 1 | C |
| 12,182 | 1 | D |
| 30,956 | 4 | B |
| 32,999 | 2 | D |
| 42,522 | 1u | D |
| 45,317 | 1 | D |
| 51,495 | 1 | D |
| 53,66 | 5u Ba? | D |
| 55,64 | 1 | D |
| 58,502 | 1 | C |
| 64,480 | 4 | C |
| 75,937 | 1 | D |
| 76,886 | 1 | C |
| 80,020 | 1[2]) | C |
| 81,22 | 2 gn | D |
| 81,93 | 1 | D |
| 87,349 | 5 | C |
| 89,17 | 1[2]) | D |
| 94,50 | 1[2]) gn | D |
| 95,250 | 8[4]) Ba? | C |
| 7200,19 | 1[2]) gn | E |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| λ I. A. | Bemerk. | | w. F. | λ I. A. | Bemerk. | | w. F. | λ I. A. | Bemerk. | w. F. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7207,123 | 2 | | D | 7382,99 | 1 | | E | 7771,99 | 1 | D |
| 07,430 | 4 | | C | 86,402 | 2 | | D | 74,22 | 1 | E |
| 12,47 | 1 u | | E | 89,432 | 3 | | D | 80,594 | 1 | C |
| 19,698 | 2 | | D | 7401,707 | 1 | | C | 7832,243 | 2 u[6]) | |
| 21,22 | 1 u | | D | 11,196 | 3 | | C | 7937,182 | 2[6]) | |
| 22,88 | 1[2]) | | D | 18,680 | 1 | | C | 45,889 | 2[6]) | |
| 23,678 | 2 | | C | 40,98 | 1 | | E | 98,98 | 2 | E |
| 28,820 | 5[4]) | Ba? | D | 43,022 | 1 | | D | 8028,37 | 2 | E |
| 39,904 | 2 | | C | 45,783 | 1 | | A | 46,088 | 2 | C |
| 44,00 | 1 u[2]) | | E | 47,43 | 1[2]) | | E | 85,220 | 2 | C |
| 44,86 | 2 | | D | 54,02 | 1 | | E | 8199,00 | 1 | E |
| 54,649 | 2 | | D | 61,534 | 1 | | C | 8207,85 | 1 u | E |
| 61,54 | 2 | | E | 91,678 | 2 | | C | 20,42 | 3 | E |
| 82,39 | 1 | | D | 95,099 | 3 | | B | 32,36 | 1 | E |
| 84,853 | 1 | | B | 98,56 | 1[2]) | | E | 32,94 | 1 | E |
| 85,286 | 1[2]) | | D | 7507,31 | 1 | | D | 47,45 | 2[2]) | E |
| 88,782 | 3 | | A | 11,059 | 4 | | A | 48,16 | 1 | E |
| 92,856 | 1 | | C | 19,84 | 1[2]) | | E | 64,80 | 1[2]) | E |
| 93,093 | 3 | | B | 31,181 | 2 | | D | 8327,080 | 3[6]) | |
| 95,00 | 1 | | E | 41,63 | 1[2]) | | E | 32,01 | 2 | E |
| 7306,61 | 1 | | D | 46,173 | 1 | | D | 40,06 | 1[2]) | F |
| 07,957 | 2 | | D | 68,932 | 2 | | C | 65,59 | 1 | E |
| 11,112 | 2 | | C | 83,803 | 2[5]) | Ba? | D | 87,785 | 2[6]) | |
| 20,72 | 2 | | E | 86,060 | 3 | | B | 8468,427 | 2[6]) | |
| 33,62 | 1 | | D | 7620,531 | 1 | | D | 8514,11 | 2 | E |
| 51,160 | 1 | | D | 61,24 | 1 | | D | 66,21 | 2[2]) | E |
| 51,56 | 1 u | | D | 64,303 | 2 | | A | 8661,920 | 1[6]) | |
| 53,528 | 1 | | D | 7710,40 | 1 | | E | 68,640 | 2[6]) | |
| 75,57 | 1 | Ba? | E | 48,289 | 2 | | C | 8824,254 | 1[6]) | |

## Mangan.

| λ I. A. | Bemerk. | w. F. | λ I. A. | Bemerk. | w. F. | λ I. A. | Bemerk. | w. F. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5481,454 | 1 | C | 6013,518 | 2 | B | 6021,820 | 2 u | B |
| 5505,889 | 1 | C | 16,659 | 2 | C | | | |

## Linien unbekannten Ursprungs.

| λ I. A. | w. F. | λ I. A. | w. F. |
|---|---|---|---|
| 7664,93 | D | 7698,98 | E |

## Anmerkungen.

1) K. Burns, Diese Zeitschr. **12.** 207—235. 1913.
2) O. Holtz, Dissert. Bonn 1912; diese Zeitschr. **12.** 101—122. 1913.
3) W. W. Campbell, Lick Observatory Bull. **5.** 151.
4) Nähere Angaben siehe in der ersten Abhandlung; ferner K. Burns, Journ. de Phys., Juin 1913.
5) F. Goos, Zeitschr. f. wiss. Phot. **11.** 305—316. 1912.
6) K. Schmitz, Dissert. Bonn 1912; diese Zeitschr. **11.** 209—235. 1912.
7) Cl. M. Kilby, Astrophys. Journ. **30.** 243—266. 1909.
8) F. Goos, loc. cit.
9) Ch. E. St. John and L. W. Ware, Astrophys. Journ. **36.** 14—53. 1912.
10) L. Geiger, Ann. d. Phys. (4) **39.** 752—788. 1912.

Washington, D.C., 10. Oktober 1913.

(Eingegangen am 24. Oktober 1913.)

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.

**Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie**

XIII. Band. 1914. Heft 7.

# Ein Beitrag zur Bestimmung tertiärer Normalen der Gegend λ 2987 bis 4118 in dem Bogenspektrum des Eisens.

Von Heinrich Viefhaus.

Fortsetzung aus Heft 6.

Tabelle 8.

| | λ | I | Δ | n | K | λ − K | $I_K$ | E. u. H. | Δλ | $I_F$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2990,385 | 2 | ±0,0036 | 3 | ,40 | − 0,02 | 4 | ,41 | − 0,03 | 1 |
| R | 3008,136 | 6 | 39 | 5 | ,13 | + 0,006 | 6 | ,14 | − 0,004 | 2 |
| | 9,075 | 1 u | 75 | 2 | ,08 | − 0,005 | 3 | ,13 | − 0,05 | 1 u |
| | 9,572 | 4 | 36 | 4 | ,57 | + 0,002 | 6 | ,58 | − 0,008 | 2 |
| | 17,631 | 4 | 36 | 2 | ,63 | + 0,001 | 5 | ,63 | + 0,001 | 2 |
| | 24,030 | 4 | 36 | 4 | ,03 | 0,000 | 5 | ,03 | 0,000 | 2 |
| | 63,934 | 1 | 54 | 2 | ,92 | + 0,014 | 2 | — | — | — |
| | 95,263 | 2 | 94 | 2 | ,24 | + 0,02 | 2 | — | — | — |
| | 3160,658 | 6 | 39 | 3 | ,65 | + 0,008 | 5 | ,66 | − 0,002 | 1 |
| | 61,386 | 2 u | 95 | 2 | ,36 | + 0,03 | 2 | — | — | — |
| | 71,364 | 2 u | 36 | 3 | ,34 | + 0,02 | 4 | ,38 | − 0,02 | 1 |
| | 82,997 | 3 | 35 | 2 | ,97 | + 0,03 | 2 | — | — | — |
| | 3205,399 | 5 | 35 | 2 | ,39 | + 0,009 | 5 | ,42 | − 0,02 | 1 |
| | 8,513 | 2 | 33 | 2 | ,47 | + 0,04 | 3 | ,55 | − 0,04 | 1 u |
| | 11,972 | 6 | 47 | 3 | ,98 | − 0,008 | 4 | 2,02 | − 0,05 | 2 |
| | 47,275 | 3 u | 35 | 3 | ,29 | − 0,02 | 3 | — | — | — |
| | 51,230 | 4 u | 5 | 2 | ,23 | 0,000 | 4 | ,23 | 0,000 | 1 u |
| | 59,999 | 4 | 6 | 2 | ,98 | + 0,02 | 3 | — | — | — |
| | 68,239 | 2 | 37 | 2 | ,22 | + 0,02 | 3 | — | — | — |
| | 78,741 | 1 | 37 | 3 | ,72 | + 0,02 | 2 | — | — | — |
| | 85,430 | 3 | 48 | 2 | ,40 | + 0,03 | 2 | ,44 | − 0,01 | 1 u |
| | 3380,591 | 1 | 32 | 4 | — | — | — | — | — | — |
| | 445,790 | 1 | 38 | 2 | ,80 | − 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 72,546 | 3 | 35 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 3516,553 | 2 | 8 | 3 | ,55 | + 0,003 | 1 | — | — | — |
| | 22,888 | 2 | 9 | 3 | ,89 | − 0,002 | 1 | — | — | — |
| | 23,300 | 3 | 9 | 2 | ,30 | 0,000 | 1 | — | — | — |
| | 31,818 | 1 | 65 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 32,570 | 3 | 9 | 2 | ,58 | − 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 47,198 | 3 | 35 | 5 | — | — | — | ,17 | + 0,03 | 1 u |
| | 48,181 | 2 | 65 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 54,511 | 1 | 43 | 3 | ,50 | + 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 64,535 | 1 | 4 | 2 | — | — | — | ,51 | + 0,03 | 1 |
| | 65,580 | 1 | 52 | 4 | ,59 | − 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 67,028 | 1 u | 43 | 3 | ,03 | − 0,002 | 2 | ,05 | − ,02 | 1 u |
| | 75,980 | 2 | 34 | 2 | ,97 | + 0,01 | 1 | ,98 | 0,000 | 1 u |
| | 76,755 | 2 | 52 | 3 | ,75 | + 0,005 | 2 | ,74 | + 0,02 | 1 |
| | 95,308 | 3 | 7 | 2 | ,30 | + 0,008 | 1 | — | — | — |
| | 99,148 | 2 | 75 | 2 | ,14 | + 0,008 | 1 | — | — | — |
| | 99,621 | 3 | 32 | 3 | ,62 | + 0,001 | 2 | ,62 | + 0,001 | 1 |
| | 3602,091 | 2 | 45 | 2 | ,01 | − 0,009 | 1 | — | — | — |
| | 3,816 | 1 | 34 | 3 | ,82 | − 0,004 | 1 | ,83 | − 0,01 | 1 |
| | 5,241 | 2 | 54 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 10,708 | 2 | 6 | 2 | ,69 | + 0,02 | 1 | — | — | — |

Tabelle 8 (Fortsetzung).

| | λ | $I$ | $\Delta$ | $n$ | $K$ | $\lambda - K$ | $I_K$ | E. u H. | $\Delta\lambda$ | $I_F$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3614,121 | 2 | ±0,0085 | 2 | ,11 | + 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 18,360 | 2 | 55 | 3 | ,38 | − 0,02 | 2 | ,35 | + 0,01 | 1 |
| | 23,444 | 1 | 57 | 3 | ,43 | + 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 34,328 | 3 | 36 | 3 | ,32 | + 0,008 | 3 | ,30 | + 0,03 | 1 u |
| | 45,075 | 1 u | 38 | 2 | ,08 | − 0,005 | 1 | — | — | — |
| | 45,496 | 1 | 5 | 3 | ,49 | + 0,006 | 1 | — | — | — |
| R | 79,908 | 6 | 31 | 5 | ,92 | − 0,01 | 3 | ,94 | − 0,03 | 3 |
| | 86,250 | 2 | 35 | 2 | ,24 | + 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 93,007 | 2 | 55 | 2 | ,02 | − 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 3703,701 | 3 | 36 | 4 | ,68 | + 0,02 | 1 | — | — | — |
| | 07,832 | 5 | 39 | 3 | — | — | — | ,88 | − 0,05 | 4 |
| | 21,914 | 2 u | 36 | 2 | ,92 | − 0,006 | 1 | — | — | — |
| | 68,027 | 1 | 36 | 3 | ,02 | + 0,007 | 2 | ,01 | + 0,02 | 1 |
| | 69,989 | 2 u | 43 | 3 | ,98 | + 0,009 | 2 | ,97 | + 0,02 | 1 u |
| | 70,301 | 2 | 54 | 2 | ,30 | + 0,001 | 2 | ,30 | + 0,001 | 1 |
| | 79,452 | 2 | 33 | 3 | ,42 | + 0,03 | 4 | ,41 | + 0,04 | 1 |
| | 81,185 | 1 | 65 | 3 | ,18 | + 0,005 | 3 | ,16 | + 0,02 | 1 |
| | 90,761 | 2 | 5 | 2 | ,75 | + 0,01 | 1 | — | — | — |
| | 92,151 | 1 | 48 | 3 | ,14 | + 0,01 | 2 | ,12 | + 0,03 | 1 |
| | 93,870 | 2 | 33 | 3 | ,87 | 0,000 | 1 | ,85 | + 0,02 | 1 |
| | 3809,585 | 1 | 36 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 10,754 | 2 | 34 | 4 | ,75 | + 0,004 | 3 | ,74 | + 0,01 | 1 |
| | 11,887 | 2 | 43 | 3 | ,88 | + 0,007 | 3 | ,86 | + 0,03 | 1 |
| | 13,065 | 1 | 45 | 2 | ,07 | − 0,005 | 1 | — | — | — |
| | 13,633 | 1 | 67 | 3 | ,63 | + 0,003 | 2 | ,58 | + 0,05 | 1 u |
| | 13,894 | 2 | 95 | 2 | ,88 | + 0,01 | 2 | ,87 | + 0,02 | 1 |
| | 24,348 | 3 | 34 | 3 | — | — | — | — | — | — |
| | 3900,521 | 2 | 55 | 2 | ,53 | − 0,009 | 2 | ,51 | + 0,01 | 1 u |
| | 6,745 | 1 | 55 | 2 | ,74 | + 0,005 | 2 | — | — | — |
| | 44,011 | 3 | 4 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| | 57,048 | 1 | 55 | 3 | ,02 | + 0,03 | 2 | ,10 | − 0,05 | 1 u |
| | 4043,909 | 2 u | 39 | 3 | ,91 | − 0,001 | 3 | ,90 | + 0,009 | 1 u |

Alle Tabellen sind nach demselben Schema eingeteilt. Die erste Spalte habe ich für Bemerkungen über den Charakter der Linien freigelassen. Der Buchstabe $R$ besagt, daß die Linie umgekehrt war. In der zweiten Spalte stehen unter λ die Wellenlängen der betreffenden Linien, wie ich sie durch Mittelbildung aus allen Bestimmungen erhielt. Die Intensitäten, welche ich nach der Kayserschen Skala vermittels der Lupe schätzte, finden wir in der dritten Spalte. Die mittleren Fehler der Linie stehen in der folgenden Spalte unter $\Delta$. Endlich gibt die fünfte Spalte noch die Anzahl der Platten an, auf welchen die Linie gemessen ist. Zum Vergleich mit meinen Messungen gebe ich in der sechsten Spalte unter $K$ die Werte, welche Kayser durch Mittelbildung[34]) erhalten hatte. In der folgenden Spalte stehen unter $\lambda - K$ die Abweichungen meiner Werte von denen Kaysers. Da Kayser die Wellenlängen nur in Hundertstel I.A. angibt, führe ich auch die Differenzen nur in den Hundertsteln an. Nur in den Fällen, in welchen die Ab-

weichungen geringer als ein Hundertstel sind, gebe ich die Tausendstel an. Die folgende Spalte gibt unter $I_K$ die Intensitäten, wie sie Kayser in seiner Tabelle führt. Ein Vergleich derselben mit den von mir geschätzten Intensitäten gibt eine hinreichende Übereinstimmung in diesem Punkte, da ja das Schätzen der Intensitäten mit der Lupe ein äußerst subjektives Verfahren ist. In den nächsten Spalten stehen unter E. u. H. die Messungen des Funkenspektrums durch Exner und Haschek[35]), unter $\Delta\lambda$ die Differenzen gegen meine Messungen und unter $I_F$ die Intensitäten der Linien im Funkenspektrum. Da die Messungen Exner und Haschek s im Rowlandschen System ausgeführt sind, habe ich erst eine Reduktion derselben auf das internationale System vorgenommen. Zur Reduktion benutzte ich die Zahlen, welche Kayser aus der Korrektionskurve graphisch ermittelt und in einer Tabelle zusammengestellt hatte.[36])

In den vorstehenden Aufstellungen habe ich aber nicht die Linien angeführt, welche sich durch Vergleich mit der Kayserschen Tabelle als nicht gelöste Doppellinien erwiesen. Es waren die Linien 3471,25 und 71,35; 3342,22 und 42,29; 3366,79 und 66,88; 3602,46 und 02,54; 3643,61 und 43,72; 3636,16 und 36,23.

Die größte Wellenlängendifferenz, welche zwei nicht aufgelöste Linien besitzen, beträgt 0,11 I. A. Ferner hatte ich drei Doppellinien als umgekehrte Linien angesehen. In den obigen Tabellen sind diese deshalb nicht enthalten. Für eine Reihe der gefundenen Linien fand ich in der Kayserschen Tabelle keinen entsprechenden Wert. Der Vergleich mit Kaysers Tabelle der Hauptlinien der Spektra der Elemente[37]) zeigte mir, daß eine Anzahl dieser Linien dem Nickel, Mangan, Chrom und Kobalt angehörten. Ich habe für diese Linien das dem Elemente entsprechende chemische Symbol in die letzte Spalte der Tabelle gesetzt. Die übrigen Linien, welche ich in den beiden Tabellen nicht unterbringen konnte, muß ich daher wohl als noch nicht gemessene Linien des Eisenbogenspektrums hinstellen. Einige der fraglichen Linien finden Exner und Haschek mit einer Verschiebung von einigen Hundertsteln der Angströmeinheit im Funkenspektrum wieder. Mithin dürfte für diesen Teil die Zugehörigkeit zum Eisenspektrum hinreichend erwiesen sein.

Wie die Tabellen zeigen, sind fast alle Linien im Funken mit geringer Intensität vertreten. Eine ziemliche Anzahl meiner Messungen weisen gegen die Werte der Linien im Funkenspektrum nur Unterschiede in den Tausendsteln auf. Im Durchschnitt betragen die Abweichungen hier einige Hundertstel Angströmeinheiten.

Der Vergleich mit den Werten Kaysers im Bogenspektrum zeigt Differenzen, welche nur in wenigen Fällen 0,02 I. A. übersteigen. Für eine erhebliche Anzahl Linien finde ich nur Abweichungen in den Tausendsteln. Es dürfte hiermit die Vermutung Kaysers bestätigt sein, für die Zahlen seiner Tabelle eine Richtigkeit bis 0,02 I. A. schätzen zu können. Tabelle 8 zeigt, daß die Linien, welche ich als Normalen nicht brauchbar bezeichne, zum größten Teile schwache Intensität besitzen und außerdem auf wenigen Platten bestimmt sind. Der letztere Umstand mag wohl darauf zurückzuführen sein, daß ich zuerst bei meinen Ausmessungen auf Linien schwacher Intensität nicht eingestellt hatte. Eine Bestimmung auf mehreren Platten hätte vielleicht für einige dieser Linien bessere Resultate gezeitigt.

Tabelle 9.

| | $\lambda$ | $I$ | $\varDelta$ | $n$ | $B$ | $I_1$ | $\lambda - B$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2990,385 | 2 | ± 0,0036 | 3 | ,394 | 4 | − 0,009 |
| R | 94,434 | 7 | 15 | 5 | ,434 | 6 | — |
| | 96,393 | 2 | 2 | 2 | ,391 | 4 | + 2 |
| | 99,514 | 6 | 18 | 4 | ,516 | 5 | − 2 |
| | 3000,447 | 3 | 26 | 5 | ,453 | 4 | − 2 |
| | 0,951 | 4 | 2 | 5 | ,951 | 5 | — |
| | 3,030 | 3 | 22 | 4 | ,034 | 4 | − 4 |
| | 8,136 | 6 | 39 | 5 | ,142 | 5 | − 6 |
| | 9,075 | 1 u | 75 | 2 | 0,98 | 3 | − 21 |
| | 9,572 | 4 | 36 | 4 | ,575 | 5 | − 3 |
| | 11,486 | 3 | 16 | 5 | ,484 | 4 | + 2 |
| | 15,928 | 2 | 16 | 2 | ,925 | 5 | + 3 |
| | 16,189 | 3 u.b | 19 | 3 | ,179 e | 2 | + 10 |
| | 17,631 | 4 | 36 | 2 | ,630 | 5 | + 1 |
| | 18,992 | 5 | 26 | 3 | ,988 | 5 | + 4 |
| | 24,030 | 4 | 36 | 4 | ,035 | 5 | − 5 |
| | 25,634 | 6 | 19 | 3 | ,638 | 4 | − 4 |
| | 26,468 | 3 | 24 | 3 | ,468 | 6 | — |
| | 30,154 | 4 | 2 | 5 | ,150 | 4 | + 4 |
| | 31,215 | 5 | 14 | 5 | ,216 | 4 | − 1 |
| | 31,644 | 5 | 24 | 4 | ,641 | 5 | + 3 |
| R | 37,386 | 6 | 24 | 5 | ,392 | 5 | − 6 |
| | 40,429 | 3 | 22 | 3 | ,430 | 4 | − 1 |
| | 42,030 | 4 | 26 | 5 | ,025 | 4 | + 5 |
| | 42,669 | 3 | 23 | 4 | ,672 | 5 | − 3 |
| | 45,083 | 2 | 2 | 4 | ,082 | 4 | + 1 |
| R | 47,610 | 8 | 2 | 5 | ,608 | 6 | + 2 |
| | 53,074 | 2 | 17 | 3 | ,070 | 4 | + 4 |
| | 55,271 | 4 | 17 | 5 | ,268 | 4 | + 3 |
| R | 57,449 | 8 | 17 | 5 | ,451 | 5 | − 2 |
| R | 59,095 | 8 | 14 | 5 | ,090 | 5 | + 5 |
| | 60,994 | 2 | 2 | 2 | ,990 | 3 | + 4 |
| | 63,934 | 1 | 54 | 2 | ,939 | 2 | − 5 |
| | 66,497 | 1 | 2 | 2 | ,487 | 3 | + 10 |
| | 67,214 | 7 | 17 | 3 | — | — | — |
| | 68,177 | 3 | 14 | 5 | ,180 | 4 | − 3 |
| | 75,724 | 7 | 2 | 5 | ,725 | 5 | − 1 |

**Tabelle 9 (Fortsetzung).**

| λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ−B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3078,035 | 2u | ± 0,0026 | 3 | ,020 | 3 | + 0,015 | |
| 78,447 | 2u | 15 | 3 | ,436 | 3 | + 11 | |
| 83,749 | 7 | 1 | 4 | ,745 | 4 | + 4 | |
| 91,582 | 6 | 18 | 4 | ,581 | 4 | + 1 | |
| 92,738 | 2 | 05 | 2 | — | — | — | |
| 93,366 | 1 | 2 | 2 | ,360 | 2 | + 6 | |
| 93,817 | 3 | 05 | 2 | ,806 | 2 | + 11 | |
| 95,263 | 2 | 94 | 2 | ,270 | 2 | − 7 | |
| 98,202 | 2u | 21 | 3 | ,191 | 3 | − 11 | |
| 99,937 | 7 | 2 | 4 | — | — | — | |
| 3100,312 | 5 | 11 | 4 | ,305 | 4 | + 7 | |
| 0,665 | 6 | 15 | 4 | ,668 | 4 | − 3 | |
| 1,010 | 2 | 09 | 3 | ,003 | 2 | − 7 | |
| 1,557 | 3 | 1 | 2 | ,558 | 3 | − 1 | Ni |
| 2,870 | 3 | 2 | 2 | ,871 | 1 | − 1 | |
| 12,087 | 1 | 26 | 2 | ,079 | 2 | + 8 | |
| 16,634 | 5 | 12 | 5 | ,632 | 5 | + 2 | |
| 19,496 | 3 | 12 | 4 | ,495 | 4 | + 1 | |
| 20,441 | 4 | 12 | 3 | ,435 | 4 | + 6 | |
| 25,663 | 6 | 2 | 5 | ,663 | 6 | — | |
| 26,173 | 2 | 07 | 3 | ,172 | 4 | + 1 | |
| 29,339 | 3 | 28 | 4 | ,334 | 4 | + 5 | |
| 34,116 | 7 | 22 | 5 | ,109 | 5 | + 7 | |
| 42,457 | 4u | 3 | 3 | ,445 | 4 | + 12 | |
| 42,896 | 4 | 16 | 3 | ,888 | 4 | + 8 | |
| 43,986 | 5 | 22 | 4 | ,982 | 6 | + 4 | |
| 51,341 | 4 | 26 | 3 | ,341 | 6 | — | |
| 53,246 | 3 | 3 | 3 | — | — | — | |
| 56,282 | 2u | 11 | 2 | ,269 | 4b | + 13 | |
| 57,064 | 5 | 19 | 2 | — | — | — | |
| 57,895 | 4b | 22 | 2 | ,877 | 4 | + 18 | |
| 60,658 | 6 | 39 | 3 | ,650 | 6 | + 8 | |
| 61,386 | 2u | 95 | 2 | ,370 | 2 | + 16 | |
| 61,951 | 3 | 25 | 3 | ,945 | 5 | + 6 | |
| 65,868 | 3u | 1 | 3 | ,858 | 3 | + 10 | |
| 66,452 | 4 | 23 | 3 | ,440 | 4 | + 12 | |
| 71,364 | 2u | 36 | 3 | ,353 | 4 | + 11 | |
| 75,449 | 5 | 2 | 4 | ,446 | 6 | + 3 | |
| 78,014 | 4 | 12 | 4 | ,014 | 6 | — | |
| 80,219 | 7 | 11 | 3 | ,220 | 8 | − 1 | |
| 80,757 | 2 | 27 | 2 | ,764 | 4 | − 7 | |
| 81,529 | 2 | 15 | 2 | ,528 | 4 | + 1 | |
| 82,997 | 3 | 35 | 2 | ,988 | 2 | + 9 | |
| 84,902 | 4 | 17 | 4 | ,903 | 4 | − 1 | |
| 88,585 | 3 | 17 | 3 | ,586 | 4 | − 1 | |
| 88,841 | 5 | 26 | 4 | ,837 | 5 | + 4 | |
| 91,668 | 2 | 14 | 3 | ,666 | 5 | + 2 | |
| 92,806 | 4 | 28 | 3 | ,806 | 5 | — | |
| 93,274 | 4 | 18 | 3 | — | — | — | |
| 96,938 | 5 | 11 | 4 | ,937 | 4 | + 1 | |
| 99,526 | 4 | 16 | 3 | ,526 | 6 | — | |
| 3200,477 | 6 | 26 | 3 | ,484 | 6 | — 7 | |
| 5,399 | 5 | 35 | 2 | ,396 | 7 | + 3 | |
| 8,513 | 2 | 33 | 2 | — | — | — | |
| 9,338 | 3 | 3 | 3 | ,328 | 4 | + 10 | |

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| $\lambda$ | $I$ | $\Delta$ | $n$ | $B$ | $I_1$ | $\lambda - B$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3210,253 | 5 | ± 0,0016 | 3 | ,245 | 4 | + 0,008 | |
| 10,849 | 5u | 27 | 2 | ,834 | 5b | + 15 | |
| 11,700 | 3 | 25 | 4 | ,693 | 4 | + 7 | |
| 11,972 | 6 | 47 | 3 | — | — | — | |
| 14,050 | 4 | 27 | 2 | ,044 | 8 | + 6 | |
| 14,413 | 2uv | 28 | 3 | ,396e | 1 | + 17 | |
| 15,946 | 5 | 26 | 3 | ,943 | 5 | + 3 | |
| 17,396 | 4 | 28 | 3 | ,389 | 4 | + 7 | |
| 19,587 | 7 | 13 | 4 | ,582 | 5 | + 5 | |
| 19,829 | 3uv | 12 | 3 | ,817 | 4 | + 12 | |
| 22,062 | 8b | 18 | 2 | ,070 | 6b | − 8 | |
| 25,787 | 7 | 2 | 4 | ,790 | 8u | − 3 | |
| 27,797 | 4 | 15 | 3 | – | – | – – | |
| 28,261 | 5 | 1 | 4 | ,262 | 4 | − 1 | |
| 28,913 | 3 | 26 | 2 | ,915 | 4 | − 2 | |
| 29,139 | 2 | 22 | 2 | ,129 | 4 | + 10 | |
| 30,209 | 2 | 21 | 3 | ,210 | 4 | − 1 | |
| 30,972 | 4 | 11 | 3 | ,976 | 6 | − 4 | |
| 33,061 | 3 | 13 | 3 | ,061 | 5 | — | |
| 33,977 | 5 | 28 | 4 | ,976 | 6 | + 1 | |
| 34,617 | 2 | 22 | 3 | ,623 | 5 | − 6 | |
| 36,229 | 4 | 09 | 4 | ,231 | 5 | − 2 | |
| 39,442 | 7 | 19 | 4 | ,449 | 8 | − 7 | |
| 44,186 | 8 | 2 | 4 | ,186 | 8 | — | |
| 46,006 | 4 | 29 | 3 | ,015 | 3 | − 9 | |
| 46,970 | 2 | 25 | 3 | ,973 | 4 | − 3 | |
| 47,275 | 3u | 35 | 3 | ,297 | 3 | − 21 | |
| 47,544 | 4 | 14 | 3 | ,554 | 7 | − 10 | Cu |
| 48,212 | 2 | 23 | 4 | ,215 | 6 | − 3 | |
| 50,638 | 5 | 17 | 2 | ,634 | 3 | + 4 | |
| 51,230 | 4u | 5 | 2 | ,238 | 5u | − 8 | |
| 52,934 | 5 | 25 | 3 | ,928 | 4 | + 6 | |
| 53,614 | 2 | 04 | 2 | ,610 | 4 | + 4 | |
| 54,371 | 3 | 17 | 3 | ,372 | 4 | − 1 | |
| 57,604 | 3 | 3 | 3 | ,603 | 4 | + 1 | |
| 59,999 | 4 | 6 | 2 | 60,004 | 4 | − 5 | |
| 64,518 | 3 | 22 | 2 | ,522 | 4 | − 4 | |
| 65,047 | 3 | 19 | 4 | ,057 | 3 | − 10 | |
| 65,623 | 6 | 13 | 3 | ,629 | 6 | − 6 | |
| 68,239 | 2 | 37 | 2 | ,246 | 4 | − 7 | |
| 71,006 | 6 | 2 | 4 | ,013 | 6b | − 7 | |
| 73,959 | 2 | 22 | 4 | ,965 | 7 | − 6 | Cu |
| 76,491 | 4u | 26 | 3 | ,477 | 3 | + 0,014 | |
| 78,741 | 1 | 37 | 3 | ,741 | 3 | — | |
| 80,262 | 4 | 15 | 4 | ,268 | 5 | − 6 | |
| 82,907 | 4 | 22 | 3 | ,898 | 4 | + 9 | |
| 84,597 | 2 | 14 | 3 | ,597 | 4 | — | |
| 85,430 | 3 | 48 | 2 | ,425 | 3 | + 5 | |
| 86,753 | 7b | 17 | 4 | ,763 | 8 | − 10 | |
| 90,999 | 4 | 28 | 4 | ,995 | 4 | + 4 | |
| 92,024 | 5 | 29 | 4 | ,029 | 5 | − 5 | |
| 92,596 | 5 | 15 | 4 | ,599 | 5 | − 3 | |
| 98,133 | 6 | 18 | 3 | ,137 | 5 | − 4 | |
| 3305,971 | 8ur | 12 | 4 | ,980 | 8 | − 9 | |
| 6,354 | 8 | 19 | 3 | ,357 | 8 | − 3 | |

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ−B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3307,239 | 3 | ± 0,0018 | 3 | ,238 | 4 | + 0,001 | |
| 14,748 | 5 | 13 | 3 | ,746 | 6 | + 2 | |
| 17,126 | 3 | 19 | 3 | ,126 | 4 | — | |
| 22,495 | 2 | 2 | 2 | ,498 | 3 | − 3 | |
| 23,741 | 2 | 2 | 4 | ,741 | 4 | — | |
| 24,546 | 3 | 15 | 4 | ,541 | 4 | + 5 | |
| 25,475 | 2 | 12 | 4 | ,468 | 4 | + 7 | |
| 28,869 | 5 | 11 | 4 | ,871 | 4 | − 2 | |
| 31,617 | 2 | 14 | 4 | ,616 | 2 | + 1 | |
| 34,239 | 2u | 15 | 2 | ,223 | 2 | + 16 | |
| 35,771 | 1 | 08 | 4 | ,776 | 3 | − 5 | |
| 36,263 | 1 | 3 | 3 | ,263 | 3 | — | |
| 37,672 | 2 | 14 | 4 | ,671 | 4 | + 1 | |
| 39,202 | 3 | 23 | 4 | ,202 | 3 | — | |
| 40,575 | 3 | 13 | 4 | ,570 | 4 | + 5 | |
| 41,915 | 4 | 17 | 4 | ,912 | 4 | + 3 | |
| 47,932 | 3 | 08 | 4 | ,932 | 4 | — | |
| 51,541 | 1u | 07 | 1 | ,529 | 3 | + 12 | |
| 51,754 | 3 | 09 | 3 | ,750 | 3 | + 4 | |
| 54,073 | 2 | 13 | 4 | ,068 | 3 | + 5 | |
| 55,237 | 6 | 11 | 4 | ,235 | 4 | + 2 | |
| 56,412 | 3 | 13 | 4 | ,412 | 3 | — | |
| 59,499 | 1 | 28 | 2 | ,496 | 3 | + 3 | |
| 69,559 | 3 | 1 | 4 | ,555 | 5 | + 4 | Ni, Fe |
| 70,790 | 5 | 15 | 4 | ,787 | 6 | + 3 | |
| 72,088 | 2 | 22 | 4 | ,081 | 3 | + 7 | |
| 78,698 | 4u | 14 | 4 | ,682 | 4 | + 16 | |
| 79,035 | 4u | 17 | 4 | ,024 | 4 | + 11 | |
| 80,123 | 7 | 18 | 4 | ,115 | 5 | + 8 | |
| 80,591 | 1 | 32 | 4 | ,578 | 3 | + 13 | |
| 82,421 | 2b | 14 | 4 | ,410 | 3 | + 11 | |
| 83,709 | 3 | 12 | 4 | ,699 | 4 | + 10 | |
| 83,990 | 6 | 11 | 4 | ,985 | 5 | + 5 | |
| 87,421 | 2 | 15 | 4 | ,410 | 4 | + 11 | |
| 89,764 | 1 | 19 | 3 | ,748 | 3 | + 16 | |
| 92,036 | 1 | 18 | 4 | ,018 | 3 | + 18 | |
| 92,323 | 1 | 23 | 4 | ,308 | 4 | + 15 | |
| 92,667 | 5 | 16 | 4 | ,658 | 5 | + 9 | |
| 93,004 | 2 | 18 | 2 | — | — | — | |
| 94,601 | 5 | 19 | 4 | ,590 | 4 | + 11 | |
| 96,995 | 4b | 23 | 4 | ,982 | 3 | + 13 | |
| 97,650 | 1 | 09 | 3 | ,642 | 2 | + 8 | |
| 99,334 | 5 | 18 | 4 | ,339 | 6 | − 5 | |
| 3401,536 | 3u | 2 | 4 | ,523 e | 4 | + 13 | |
| 2,273 | 4 | 16 | 4 | ,262 e | 4 | + 11 | |
| 3,315 | 1 | 3 | 2 | — | — | — | |
| 4,340 | 6uv | 11 | 4 | ,356 | 6uv | − 16 | |
| 5,139 | 1 | 2 | 3 | — | — | — | Kr |
| 5,857 | 1 | 19 | 2 | — | — | — | |
| 6,461 | 3 | 11 | 3 | ,446 e | 2 | + 15 | |
| 6,822 | 4ur | 21 | 3 | ,807 e | 4 | + 15 | |
| 7,479 | 8 | 11 | 4 | ,468 | 7ur | + 11 | |
| 9,218 | 2 | 27 | 2 | — | — | — | |
| 10,197 | 2u | 2 | 3 | ,175 e | 2 | + 21 | |
| 11,372 | 3 | 25 | 4 | ,356 | 2 | + 16 | |

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| | λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ−B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3412,354 | 2 | ± 0,003 | 3 | ,347 e | 1 | + 0,007 | |
| | 13,145 | 6 | 18 | 4 | ,140 | 7 | + 5 | |
| | 14,785 | 2 | 19 | 4 | — | — | — | |
| | 15,549 | 3 | 12 | 4 | ,537 e | 4 | + 12 | |
| | 17,855 | 6 | 19 | 3 | ,847 | 6 | + 8 | |
| | 18,517 | 7 | 16 | 4 | ,514 | 5 | + 3 | |
| | 19,713 | 1 | 12 | 2 | ,706 e | 1 | + 7 | |
| | 22,505 | 2 | 23 | 4 | ,505 | 2 u | — | |
| | 22,680 | 4 ur | 1 | 4 | ,665 | 4 | + 15 | |
| | 24,295 | 6 | 2 | 4 | ,290 | 6 | + 5 | |
| | 25,025 | 3 | 18 | 4 | ,021 | 4 | + 4 | |
| | 26,385 | 5 | 13 | 4 | ,393 e | 4 | − 8 | |
| | 26,653 | 5 | 12 | 3 | ,646 e | 6 | + 7 | |
| | 27,015 | 2 | 22 | 4 | — | — | — | |
| | 27,143 | 4 u | 14 | 4 | ,127 | 6 | + 16 | |
| | 28,202 | 2 | 16 | 4 | ,200 | 6 | + 2 | |
| | 31,827 | 3 | 3 | 4 | ,827 | 2 | — | |
| | 33,575 | 2 | 17 | 4 | — | — | — | Ni |
| | 37,046 | 4 | 24 | 3 | ,045 e | 2 u | + 1 | |
| | 37,960 | 2 | 19 | 4 | ,958 | 2 | + 2 | |
| | 38,317 | 2 u | 22 | 3 | ,306 e | 3 | + 11 | |
| | 39,046 | 1 | 22 | 4 | ,050 e | 1 | − 4 | |
| | 39,877 | 3 u | 18 | 4 | — | — | — | |
| R | 40,622 | 7 | 13 | 4 | ,614 | 7 | + 8 | |
| R | 41,001 | 6 | 13 | 4 | ,992 | 6 | − 9 | |
| | 42,372 | 4 | 15 | 4 | ,464 | 4 | + 8 | |
| | 42,679 | 2 | 16 | 4 | ,676 | 2 | + 3 | |
| R | 43,889 | 8 | 11 | 4 | ,883 | 6 | + 6 | |
| | 45,157 | 4 | 12 | 4 | ,155 | 4 | + 2 | |
| | 45,790 | 1 | 38 | 2 | ,783 e | 2 | + 7 | |
| | 46,276 | 1 | 3 | 3 | ,262 | 3 | + 14 | Ni |
| | 47,288 | 5 | 13 | 4 | ,283 | 6 | + 5 | |
| | 50,338 | 5 | 12 | 4 | ,334 | 6 | + 4 | |
| | 51,633 | 1 | 14 | 4 | ,618 | 2 | + 15 | |
| | 51,924 | 6 | 13 | 4 | ,920 | 6 | + 4 | |
| | 52,281 | 5 | 18 | 4 | ,279 | 4 | + 2 | |
| | 53,035 | 2 | 15 | 3 | ,025 | 2 | + 10 | |
| | 53,521 | 2 | 17 | 4 | — | — | — | Co |
| | 58,314 | 4 | 09 | 4 | ,310 | 3 | + 4 | |
| | 58,471 | 1 | 21 | 3 | ,465 | 3 | + 6 | |
| | 59,443 | 2 u | 25 | 3 | ,429 e | 2 | + 14 | |
| | 59,926 | 6 | 19 | 4 | ,922 | 4 | + 4 | |
| | 61,662 | 3 | 16 | 4 | ,656 | 3 | + 6 | Ni |
| | 62,365 | 2 | 16 | 4 | ,354 e | 2 | + 11 | |
| | 62,813 | 1 | 26 | 4 | ,808 e | 1 | + 5 | |
| R | 65,870 | 8 | 18 | 4 | ,864 | 6 | + 6 | |
| | 66,504 | 2 | 1 | 4 | ,501 e | 2 | + 3 | |
| | 66,899 | 1 | 11 | 4 | ,897 e | 2 | + 2 | |
| | 68,854 | 1 | 16 | 4 | ,849 | 4 | + 5 | |
| | 69,019 | 1 | 2 | 4 | ,012 | 2 | + 7 | |
| | 69,838 | 3 | 11 | 4 | ,834 e | 2 | + 4 | |
| | 72,546 | 3 | 35 | 2 | — | — | — | |
| | 74,045 | 2 | 12 | 2 | — | — | — | |
| | 74,441 | 2 | 11 | 4 | ,436 e | 2 | + 5 | |
| R | 75,454 | 8 | 14 | 4 | ,454 | 6 | — | |

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| | λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ − B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3475,658 | 1 | ± 0,0014 | 4 | ,653 | 4 | + 0,005 | |
| | 76,698 | 6 | 24 | 4 | ,705 | 5 | − 7 | |
| | 76,846 | 2 | 18 | 4 | ,846 | 2 | — | |
| | 77,014 | 1 | 28 | 2 | ,007 e | 1 | + 7 | |
| | 77,857 | 2 | 07 | 4 | ,850 e | 2 | + 7 | |
| | 78,631 | 2 | 13 | 4 | ,623 e | 2 | + 8 | |
| | 83,015 | 4 | 16 | 4 | ,012 e | 4 | + 3 | |
| | 85,345 | 5 | 15 | 4 | ,344 | 6 | + 1 | |
| | 89,410 | 1 | 28 | 4 | — | — | — | Fe, Co |
| | 89,675 | 4 | 2 | 5 | ,672 | 4 | + 3 | |
| R | 90,577 | 8 | 17 | 5 | ,577 | 6 | — | |
| | 92,962 | 2 | 18 | 5 | — | — | — | |
| | 93,290 | 2 | 08 | 3 | — | — | — | |
| | 93,696 | 1 | 09 | 2 | — | — | — | |
| | 95,290 | 2 | 12 | 5 | ,290 | 4 ur | — | |
| | 95,905 | 3 | 16 | 2 | — | — | — | |
| | 97,116 | 5 | 14 | 5 | ,112 e | 4 | + 4 | |
| R | 97,848 | 5 | 1 | 4 | ,842 | 5 | + 6 | |
| | 3500,569 | 4 | 15 | 6 | ,570 | 2 | − 1 | |
| | 2,291 | 2 | 3 | 2 | — | — | — | Co, Fe |
| | 4,868 | 1 | 19 | 5 | ,866 e | 2 | + 2 | |
| | 5,064 | 2 | 18 | 4 | ,065 e | 2 | − 1 | |
| | 6,502 | 4 | 18 | 5 | ,502 | 5 | — | |
| | 8,492 | 4 | 15 | 5 | ,492 | 4 uv | — | |
| | 9,869 | 2 | 26 | 4 | — | — | — | |
| | 10,342 | 2 | 1 | 2 | — | — | — | |
| | 10,442 | 1 | 13 | 5 | ,443 | 2 | − 1 | |
| | 12,220 | 2 | 06 | 1 | — | — | — | |
| | 13,059 | 2 | 22 | 4 | — | — | — | |
| | 13,826 | 4 | 11 | 6 | ,822 | 5 | + 4 | |
| | 14,631 | 1 | 2 | 2 | — | — | — | |
| | 15,049 | 2 | 25 | 3 | ,056 | 2 | − 7 | Ni |
| | 16,405 | 3 | 24 | 2 | ,410 | 3 | − 5 | |
| | 16,553 | 2 | 8 | 3 | — | — | — | |
| | 18,873 | 2 | 26 | 3 | — | — | — | |
| | 20,861 | 1 | 3 | 3 | — | — | — | |
| | 21,257 | 5 | 24 | 3 | ,264 | 5 | − 7 | |
| | 21,835 | 3 | 16 | 5 | ,837 | 2 | − 2 | |
| | 22,262 | 3 | 27 | 4 | — | — | — | |
| | ,22888 | 2 | 9 | 3 | — | — | — | |
| | 23,300 | 3 | 9 | 2 | — | — | — | |
| | 24,073 | 3 | 24 | 4 | ,077 | 4 | − 4 | |
| | 24,241 | 3 | 22 | 4 | ,244 | 4 | − 3 | |
| | 24,527 | 2 | 21 | 3 | ,537 | 4 | − 10 | Ni |
| R | 26,098 | 5 | 24 | 5 | — | — | — | |
| R | 26,415 | 3 | 2 | 5 | — | — | — | |
| | 26,667 | 5 | 14 | 4 | ,672 | 5 | − 5 | |
| | 27,790 | 5 | 24 | 5 | ,795 | 4 | − 5 | |
| | 29,809 | 5 | 16 | 4 | ,816 | 4 | − 7 | |
| | 30,379 | 3 | 25 | 5 | ,382 e | 4 | − 3 | |
| | 31,818 | 1 | 65 | 2 | — | — | — | |
| | 32,570 | 3 | 9 | 2 | — | — | — | |
| | 32,983 | 1 | 28 | 4 | — | — | — | |
| | 33,200 | 5 | 19 | 5 | ,196 | 5 | + 4 | |
| | 34,907 | 3 | 1 | 1 | — | — | — | |

**Tabelle 9 (Fortsetzung).**

| | λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ−B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3536,547 | 3 | ± 0,0011 | 4 | ,552 | 6 | − 0,005 | |
| | 37,490 | 4 | 09 | 5 | ,495 e | 2 | − 5 | |
| | 37,726 | 1 | 09 | 5 | ,731 | 4 | − 5 | |
| | 37,892 | 3 u | 15 | 4 | ,890 | 4 u | + 2 | |
| | 40,126 | 3 | 16 | 5 | ,132 | 4 | − 6 | |
| | 40,709 | 2 | 15 | 4 | ,714 | 2 | − 5 | |
| | 41,084 | 5 | 1 | 5 | ,090 | 6 u | − 6 | |
| | 42,054 | 6 u b | 24 | 4 | ,079 | 6 | − 25 | |
| | 43,380 | 1 | 23 | 2 | — | — | — | |
| | 43,671 | 1 | 08 | 3 | ,680 | 4 | − 9 | |
| | 44,630 | 4 | 27 | 3 | — | — | — | |
| | 45,627 | 2 b | 16 | 4 | ,638 | 5 | − 11 | |
| | 47,198 | 3 | 35 | 5 | ,199 e | 2 u | − 1 | |
| | 47,786 | 2 | 21 | 5 | — | — | — | |
| | 48,014 | 3 | 12 | 3 | ,024 | 4 | − 10 | Mn, Fe |
| | 48,181 | 2 | 65 | 2 | — | — | — | |
| | 49,866 | 1 | 13 | 3 | ,873 e | 3 | − 7 | |
| | 52,110 | 1 | 21 | 3 | ,112 e | 2 | − 2 | |
| | 52,832 | 6 | 16 | 4 | ,840 | 4 u | − 8 | |
| | 53,739 | 5 | 15 | 4 | ,741 | 5 | − 2 | |
| | 54,119 | 5 | 15 | 4 | ,121 | 4 | − 2 | |
| | 54,511 | 1 | 43 | 3 | — | — | — | |
| | 54,920 | 8 | 16 | 5 | ,924 | 8 u | − 4 | |
| | 65,882 | 7 uv | 3 | 2 | ,880 | 6 u | + 2 | |
| | 58,518 | 7 | 09 | 3 | ,522 | 5 | − 4 | |
| | 59,495 | 2 uv | 09 | 3 | ,514 | 2 | − 19 | |
| | 60,695 | 2 | 12 | 2 | ,705 e | 2 | − 10 | |
| | 64,535 | 1 | 4 | 2 | — | — | — | |
| R | 65,385 | 8 | 25 | 4 | ,383 | 6 | + 2 | |
| | 65,580 | 1 | 52 | 4 | ,584 | 4 u | − 4 | |
| | 67,028 | 1 u | 43 | 3 | ,045 e | 4 u | − 17 | |
| | 68,828 | 1 | 05 | 1 | ,828 e | 2 | — | |
| | 68,977 | 2 | 18 | 3 | ,980 | 4 | − 3 | |
| | 69,483 | 2 | 19 | 3 | — | — | — | |
| R | 70,102 | 8 | 08 | 2 | ,102 | 7 | — | |
| | 71,232 | 1 | 24 | 3 | ,228 e | 2 | + 4 | |
| | 71,996 | 4 | 21 | 4 | ,998 | 7 u | − 2 | |
| | 73,403 | 2 | 2 | 4 | ,403 e | 2 | — | |
| | 73,869 | 3 | 24 | 3 | — | — | — | |
| | 75,116 | 2 | 1 | 2 | — | — | — | |
| | 75,251 | 3 | 16 | 4 | ,248 e | 2 | + 3 | |
| | 75,373 | 4 | 3 | 4 | ,375 | 4 | − 2 | |
| | 75,980 | 2 | 34 | 2 | ,983 e | 2 | − 3 | |
| | 76,755 | 2 | 52 | 3 | ,762 | 4 | − 7 | |
| | 77,875 | 1 | 27 | 4 | — | — | — | |
| | 78,683 | 2 | 28 | 4 | ,686 | 4 | − 3 | Cr |
| R | 81,192 | 8 | 17 | 3 | ,197 | 8 | − 5 | |
| | 82,202 | 2 | 25 | 2 | ,202 | 4 | — | |
| | 83,324 | 2 | 07 | 2 | ,324 e | 2 u | — | |
| | 84,662 | 6 | 21 | 4 | ,662 | 5 | — | |
| | 85,314 | 2 | 23 | 4 | ,322 | 6 | − 8 | |
| | 85,710 | 2 | 13 | 4 | ,708 | 5 | + 2 | |
| | 86,113 | 3 | 25 | 3 | ,115 | 5 | − 2 | |
| | 86,986 | 5 | 15 | 3 | ,989 | 6 | − 3 | |
| | 87,242 | 4 u | 24 | 2 | ,253 e | 2 u | − 11 | |

**Tabelle 9 (Fortsetzung).**

| | λ | *I* | Δ | *n* | *B* | $I_1$ | λ−*B* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3587,428 | 4 | ± 0,0022 | 3 | ,424 | 2 | + 0,004 | |
| | 87,749 | 3 | 23 | 3 | ,749 | 2 | — | |
| | 88,596 | 3u b | 24 | 3 | ,622 | 2 | − 26 | |
| | 88,918 | 3 | 18 | 4 | ,918e | 2 | — | |
| | 89,110 | 5 | 15 | 4 | ,105 | 4 | + 5 | |
| | 89,452 | 5 | 19 | 3 | ,453 | 3 | − 1 | |
| | 93,488 | 5 | 1 | 4 | ,485 | 5 | + 3 | Cr |
| | 94,627 | 2 | 11 | 4 | ,627 | 5 | — | |
| | 95,308 | 3b | 7 | 2 | ,294e | 2u | + 14 | |
| | 97,069 | 2 | 16 | 2 | — | — | — | |
| | 99,148 | 2 | 75 | 2 | — | — | — | |
| | 99,621 | 3 | 32 | 3 | ,628 | 3 | − 7 | |
| | 3602,091 | 2 | 45 | 2 | — | — | — | |
| | 3,208 | 2 | 12 | 3 | ,203 | 5 | + 5 | |
| | 3,816 | 1 | 34 | 3 | ,818 | 3 | − 2 | |
| | 5,241 | 2 | 54 | 2 | — | — | — | |
| | 5,470 | 5ur | 24 | 4 | ,454 | 5ur | + 16 | |
| | 6,684 | 6 | 24 | 5 | ,682 | 5 | + 2 | |
| | 8,155 | 1 | 14 | 3 | ,154 | 3 | + 1 | |
| R | 8,865 | 6 | 14 | 5 | ,860 | 6 | + 5 | |
| | 10,153 | 5 | 21 | 5 | ,151 | 5u | + 2 | |
| | 10,708 | 2 | 6 | 2 | ,705e | 2 | + 3 | |
| | 12,089 | 3 | 21 | 3 | ,082 | 4 | + 7 | |
| | 14,121 | 2 | 85 | 2 | — | — | — | |
| | 16,581 | 2 | 24 | 2 | ,583e | 4u | − 2 | |
| | 17,327 | 1 | 26 | 4 | ,320 | 3 | + 7 | |
| | 17,794 | 6 | 15 | 4 | ,789 | 6 | + 5 | |
| | 18,360 | 2ur | 55 | 3 | ,388 | 3 | − 28 | |
| R | 18,768 | 7 | 14 | 5 | ,769 | 6 | − 1 | |
| | 21,466 | 5 | 17 | 5 | ,463 | 6 | + 3 | |
| | 21,724 | 3 | 18 | 2 | ,718 | 2 | + 6 | |
| | 22,007 | 3 | 15 | 5 | ,005 | 6 | + 2 | |
| | 23,189 | 2 | 13 | 5 | ,186 | 5 | + 3 | |
| | 23,444 | 1 | 57 | 3 | ,446 | 2 | − 2 | |
| | 23,784 | 1u | 29 | 5 | ,794 | 4u | − 10 | Mn |
| | 25,147 | 2 | 23 | 4 | ,148 | 6 | − 1 | |
| | 30,353 | 2 | 19 | 4 | ,352 | 3 | + 1 | |
| | 31,088 | 2 | 15 | 4 | ,093 | 5 | − 5 | |
| R | 31,462 | 6 | 18 | 5 | ,464 | 6 | − 2 | |
| | 32,041 | 2 | 21 | 5 | ,040 | 6 | + 1 | |
| | 32,557 | 2 | 24 | 3 | ,554 | 3 | + 3 | |
| | 34,328 | 3 | 36 | 3 | ,336e | 5u | − 8 | |
| | 34,666 | 1 | 25 | 2 | — | — | — | |
| | 36,993 | 1 | 19 | 3 | ,994 | 2 | − 1 | |
| | 37,258 | 2 | 1 | 3 | ,251e | 2 | + 7 | |
| | 37,864 | 2 | 11 | 3 | ,862e | 4 | + 2 | |
| | 38,301 | 5 | 15 | 4 | ,299 | 6 | + 2 | |
| | 40,389 | 7 | 2 | 5 | ,392 | 6 | − 3 | |
| | 45,075 | 1ub | 38 | 2 | ,090e | 2u | − 15 | |
| | 45,496 | 1 | 5 | 3 | ,494 | 2 | + 2 | |
| | 45,828 | 2 | 16 | 5 | ,825 | 4 | + 3 | |
| | 47,438 | 2 | 2 | 5 | ,430 | 3 | + 8 | |
| R | 47,842 | 7 | 22 | 4 | ,845 | 6 | − 3 | |
| | 49,302 | 1 | 19 | 4 | ,308 | 3 | − 6 | |
| | 49,511 | 4 | 12 | 5 | ,509 | 6 | + 2 | |

**Tabelle 9 (Fortsetzung).**

| | $\lambda$ | $I$ | $\Delta$ | $n$ | $B$ | $I_1$ | $\lambda - B$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3650,017 | 2 | ± 0,0013 | 5 | ,026 | 3u | − 0,009 |
| | 50,277 | 2 | 19 | 5 | ,282 | 4 | − 5 |
| | 51,466 | 5 | 09 | 5 | ,473 | 6 | − 7 |
| | 55,467 | 2 | 13 | 5 | ,470 | 4 | − 3 |
| | 59,517 | 3 | 12 | 5 | ,521 | 5 | − 4 |
| | 67,264 | 1b | 12 | 2 | ,280e | 4u | − 16 |
| | 69,145 | 1 | 17 | 4 | ,158 | 3 | − 13 |
| | 69,521 | 4 | 13 | 5 | ,525 | 6 | − 4 |
| | 70,056 | 2b | 18 | 5 | ,035e | 2 | + 21 |
| | 74,756 | 2 | 15 | 3 | ,768 | 2 | − 12 |
| | 76,307 | 4 | 14 | 5 | ,313 | 4 | − 6 |
| | 77,296 | 2b | 21 | 5 | ,309 | 2 | − 13 |
| | 77,630 | 5 | 2 | 5 | ,630 | 6 | — |
| | 78,854 | 2 | 28 | 5 | ,862 | 2 | − 8 |
| R | 79,908 | 6 | 31 | 5 | ,915 | 5 | − 7 |
| | 82,213 | 2 | 22 | 5 | ,209 | 1 | + 4 |
| | 83,053 | 3 | 16 | 5 | ,056 | 4 | − 3 |
| | 84,110 | 2 | 14 | 5 | ,110 | 5 | — |
| | 85,991 | 4 | 19 | 5 | ,995 | 5u | − 4 |
| | 86,250 | 2 | 35 | 2 | ,258 | 1 | − 8 |
| | 87,092 | 1 | 19 | 3 | ,101 | 1 | − 9 |
| | 87,450 | 6 | 18 | 5 | ,458 | 6 | − 8 |
| | 87,652 | 2 | 26 | 5 | ,657 | 2 | − 5 |
| | 89,444 | 5b | 21 | 5 | ,456 | 6 | − 12 |
| | 90,720 | 2 | 19 | 5 | ,728 | 2 | − 8 |
| | 93,007 | 2b | 55 | 2 | ,021e | 1 | − 14 |
| | 95,048 | 3 | 28 | 4 | ,054 | 3 | − 6 |
| | 97,438 | 3 | 2 | 5 | ,436 | 2u | + 2 |
| | 98,603 | 4 | 16 | 2 | ,606 | 1 | − 3 |
| | 3701,078 | 2 | 27 | 5 | ,083 | 6 | − 5 |
| | 2,025 | 2 | 3 | 4 | ,032 | 1 | − 8 |
| | 3,559 | 3 | 26 | 5 | ,556 | 1ur | + 3 |
| | 3,701 | 3 | 36 | 5 | ,702e | 1u | − 1 |
| | 3,818 | 3 | 19 | 5 | ,824 | 1 | − 6 |
| | 4,460 | 6 | 19 | 5 | ,462 | 5 | − 2 |
| R | 5,564 | 5 | 14 | 5 | ,567 | 6 | − 3 |
| | 7,043 | 3 | 23 | 5 | ,048 | 3u | − 5 |
| | 7,832 | 2 | 36 | 2 | ,828 | 3u | + 4 |
| | 7,914 | 6 | 26 | 5 | ,923 | 5 | − 9 |
| R | 9,243 | 6 | 18 | 5 | ,250 | 6 | − 7 |
| | 11,216 | 2b | 19 | 3 | ,227 | 2 | − 11 |
| | 11,399 | 2 | 1 | 3 | ,408 | 1 | − 9 |
| | 15,911 | 3 | 18 | 5 | ,916 | 2 | − 5 |
| | 16,443 | 5 | 2 | 4 | ,450 | 6 | − 7 |
| | 18,405 | 2 | 17 | 5 | ,410 | 2 | − 5 |
| R | 19,933 | 8 | 21 | 5 | ,938 | 8 | − 5 |
| | 21,914 | 2u b | 36 | 2 | ,928 | 1 | − 14 |
| R | 22,564 | 5 | 14 | 5 | ,565 | 6 | − 1 |
| | 24,376 | 5 | 1 | 6 | ,380 | 6 | − 4 |
| | 28,918 | 2u | 13 | 6 | ,922 | 3u | − 4 |
| | 27,095 | 2 | 14 | 6 | ,095 | 2 | — |
| R | 27,614 | 6 | 16 | 6 | ,622 | 6 | − 8 |
| | 27,793 | 2u | 23 | 6 | ,810 | 1 | − 17 |
| | 30,391 | 2 | 12 | 6 | ,390 | 3 | + 1 |
| | 30,947 | 2 | 21 | 6 | ,947 | 1 | — |

**Tabelle 9 (Fortsetzung).**

| | λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ − B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3731,376 | 4 | ± 0,0014 | 6 | ,374 | 1 | + 0,002 |
| | 32,400 | 5 | 15 | 6 | ,398 | 6 | + 2 |
| R | 33,318 | 5 | 12 | 6 | ,319 | 6 | − 1 |
| R | 34,869 | 7 | 15 | 6 | ,869 | 9 | |
| | 35,325 | 1 | 1 | 5 | ,329 | 3 | − 4 |
| R | 37,134 | 7 | 14 | 6 | ,135 | 7 | − 1 |
| | 38,307 | 3 | 12 | 6 | ,310 | 4 | − 3 |
| | 39,543 | 1 | 2 | 6 | ,542 | 1 u | + 1 |
| | 40,264 | 2 | 25 | 4 | ,262 | 1 | + 2 |
| | 42,625 | 4 | 13 | 6 | ,623 | 1 u | + 2 |
| | 43,323 | 2 b | 2 | 2 | ,336 | 2 | − 13 |
| R | 43,390 | 4 | 3 | 2 | ,395 | 1 | − 5 |
| | 43,448 | 2 | 24 | 2 | — | — | — |
| | 44,098 | 3 | 15 | 5 | ,095 | 2 u | + 3 |
| R | 45,565 | 7 | 16 | 6 | ,563 | 7 | + 2 |
| | 45,905 | 5 | 1 | 5 | ,900 | 6 | + 5 |
| | 46,931 | 2 | 09 | 6 | ,927 | 2 u | + 4 |
| R | 48,263 | 6 | 09 | 6 | ,264 | 6 | − 1 |
| | 48,959 | 4 | 13 | 6 | ,959 | 3 u | — |
| R | 49,486 | 7 | 13 | 6 | ,487 | 8 | − 1 |
| | 53,616 | 4 | 15 | 6 | ,614 | 5 | + 2 |
| | 56,077 | 2 | 1 | 6 | ,071 | 1 | + 6 |
| | 56,945 | 3 | 15 | 6 | ,940 | 3 | + 5 |
| | 57,471 | 1 u | 23 | 2 | ,460 | 1 | + 11 |
| R | 58,235 | 8 | 19 | 6 | ,234 | 7 | + 1 |
| | 60,051 | 2 | 1 | 6 | ,051 | 5 | — |
| | 60,533 | 2 | 13 | 6 | ,533 | 3 | — |
| R | 63,791 | 8 | 19 | 6 | ,792 | 6 | − 1 |
| | 65,543 | 5 | 14 | 6 | ,541 | 6 | + 2 |
| R | 67,198 | 7 | 19 | 6 | ,194 | 6 | + 4 |
| | 68,027 | 1 | 36 | 3 | ,028 | 1 | − 1 |
| | 69,989 | 2 u | 43 | 3 | ,995 | 1 u | − 6 |
| | 70,301 | 2 | 54 | 2 | ,305 | 1 | − 4 |
| | 74,825 | 3 | 14 | 5 | ,826 | 2 | − 1 |
| | 76,457 | 3 | 12 | 5 | ,456 | 2 | + 1 |
| | 77,449 | 1 | 29 | 3 | ,452 | 1 | − 3 |
| | 78,514 | 2 | 17 | 3 | ,515 | 1 | − 1 |
| | 79,452 | 2 b | 33 | 3 | ,424 e | 1 | + 28 |
| | 81,185 | 1 | 65 | 3 | ,190 | 1 | − 5 |
| | 85,949 | 4 | 16 | 6 | ,948 | 5 | + 1 |
| | 86,173 | 2 | 27 | 6 | ,177 | 2 u | − 4 |
| | 86,680 | 3 | 18 | 6 | ,678 | 3 | + 2 |
| | 87,886 | 6 | 17 | 5 | ,880 | 6 | + 6 |
| | 89,175 | 5 | 2 | 3 | ,181 | 1 | − 6 |
| | 90,095 | 5 | 14 | 5 | ,094 | 4 | + 1 |
| | 90,761 | 2 | 5 | 2 | ,759 | 1 | + 2 |
| | 92,151 | 1 | 48 | 3 | ,157 | 2 | − 6 |
| | 93,870 | 2 | 33 | 3 | ,874 | 1 | − 4 |
| | 94,343 | 2 | 23 | 6 | ,341 | 3 | + 2 |
| R | 95,008 | 6 | 13 | 6 | ,004 | 6 | + 4 |
| | 97,518 | 3 | 1 | 6 | ,516 | 5 | + 2 |
| | 98,514 | 5 | 16 | 6 | ,512 | 6 | + 2 |
| | 99,549 | 6 | 12 | 6 | ,548 | 6 | + 1 |
| | 3801,676 | 2 | 23 | 5 | ,681 | 2 | − 5 |
| | 2,289 | 1 | 3 | 2 | ,282 | 1 | + 7 |

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| | λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ−B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3805,347 | 5 | ± 0,0017 | 6 | ,346 | 6 | + 0,001 | |
| | 6,210 | 2b | 12 | 4 | ,222 | 2 | − 12 | |
| | 6,703 | 3 | 06 | 6 | ,702 | 6 | + 1 | |
| | 7,539 | 3 | 14 | 6 | ,541 | 4 | − 2 | |
| | 8,730 | 3 | 19 | 6 | ,732 | 2 | − 2 | |
| | 9,585 | 1 | 36 | 2 | — | — | — | |
| | 10,754 | 2 | 34 | 4 | ,759 | 2 | − 5 | |
| | 11,887 | 2 | 43 | 3 | ,894 | 2 | − 7 | |
| | 12,985 | 2b | 13 | 4 | ,966 | 6 | + 19 | |
| | 13,065 | 1 | 45 | 2 | ,062 | 2 | + 3 | |
| | 13,633 | 1 | 67 | 3 | ,639 | 2 | − 6 | |
| | 13,894 | 2 | 95 | 2 | ,891 | 2 | + 3 | |
| | 14,526 | 2 | 15 | 6 | ,525 | 2 | + 1 | |
| R | 15,843 | 7 | 16 | 6 | ,844 | 7 | − 1 | |
| | 16,341 | 2 | 16 | 6 | ,343 | 2 | − 2 | |
| R | 20,424 | 8 | 13 | 5 | ,430 | 8 | − 6 | |
| | 21,179 | 5 | 11 | 6 | ,182 | 6 | − 3 | |
| | 21,836 | 2 | 27 | 6 | ,837 | 2 | − 1 | |
| | 23,512 | 2 | 25 | 5 | ,514 | 2 | − 2 | Mn |
| R | 24,080 | 3 | 08 | 3 | ,080 | 1 | — | |
| R | 24,440 | 2 | 19 | 2 | ,444 | 6 | − 4 | |
| R | 25,884 | 7 | 21 | 6 | ,886 | 8 | − 2 | |
| R | 27,833 | 7 | 15 | 5 | ,826 | 6 | + 7 | |
| | 33,317 | 4 | 16 | 4 | ,312 | 4 | + 5 | |
| R | 34,224 | 8 | 2 | 6 | ,227 | 7 | − 3 | |
| | 36,336 | 3 | 1 | 6 | ,339 | 3 | − 3 | |
| | 37,126 | 1u | 25 | 2 | ,136 | 1 | − 10 | |
| | 39,258 | 4 | 16 | 6 | ,259 | 5 | − 1 | |
| R | 40,440 | 7 | 14 | 6 | ,443 | 6 | − 3 | |
| | 41,054 | 8 | 13 | 6 | ,052 | 6 | + 2 | |
| | 43,259 | 4 | 14 | 5 | ,259 | 5 | — | |
| | 45,177 | 3 | 18 | 6 | — | — | — | |
| | 46,412 | 2 | 22 | 6 | ,412 | 2 | — | |
| | 46,807 | 5 | 14 | 6 | ,806 | 5 | + 1 | |
| | 49,972 | 7 | 06 | 5 | ,970 | 6 | + 2 | |
| | 50,821 | 6 | 12 | 6 | ,820 | 5 | + 1 | |
| | 52,578 | 4 | 12 | 5 | ,577 | 3 | + 1 | |
| R | 56,373 | 6 | 14 | 5 | ,373 | 6 | — | |
| | 59,219 | 3 | 12 | 6 | ,215 | 5 | + 4 | |
| R | 59,908 | 8 | 16 | 6 | ,913 | 7 | − 5 | |
| | 61,335 | 2 | 26 | 6 | ,342 | 2 | − 7 | |
| | 63,734 | 2 | 1 | 4 | ,745 | 1 | − 11 | |
| | 65,529 | 6 | 07 | 5 | ,526 | 6 | + 3 | |
| | 67,218 | 4 | 14 | 5 | ,221 | 3 | − 3 | |
| | 69,566 | 2 | 27 | 4 | ,563 | 2 | + 3 | |
| | 71,754 | 2 | 14 | 5 | ,752 | 2 | + 2 | |
| | 72,505 | 6 | 12 | 4 | ,506 | 6 | − 1 | |
| | 73,763 | 4 | 14 | 5 | ,766 | 4 | − 3 | |
| | 76,037 | 5 | 17 | 4 | ,044 | 1 | − 7 | |
| | 78,019 | 3 | 12 | 5 | ,024 | 6 | − 5 | |
| | 78,523 | 3 | 27 | 5 | — | — | — | |
| | 78,676 | 3uv | 16 | 5 | ,663e | 4 | + 13 | |
| | 83,282 | 2 | 17 | 3 | ,288 | 2 | − 6 | |
| | 84,363 | 2 | 21 | 5 | ,365 | 2 | − 2 | |
| | 85,515 | 3 | 17 | 4 | ,514 | 3 | + 1 | |

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| | λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ − B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 3886,284 | 6 | ± 0,0016 | 5 | ,287 | 7 | − 0,003 | |
| | 87,049 | 6 | 12 | 5 | ,053 | 6 | − 4 | |
| | 88,512 | 5 | 12 | 5 | ,510 | 7b | + 2 | |
| | 88,817 | 1 | 28 | 5 | ,825 | 2 | − 8 | |
| | 90,845 | 2 | 15 | 3 | ,844 | 2 | + 1 | |
| | 91,929 | 2 | 26 | 4 | ,933 | 4 | − 4 | |
| | 93,390 | 3 | 21 | 5 | ,395 | 4 | − 5 | |
| R | 95,655 | 5 | 12 | 5 | ,659 | 5 | − 4 | |
| | 97,450 | 1 | 25 | 4 | ,454 | 1 | − 4 | |
| | 98,017 | 3 | 16 | 2 | ,013 | 4 | + 4 | |
| | 99,030 | 3 | 3 | 5 | ,030 | 1 | — | |
| R | 99,707 | 6 | 1 | 5 | ,711 | 6 | − 4 | |
| | 3900,521 | 2 | 55 | 2 | ,524 | 1 | − 3 | |
| | 2,951 | 7 | 12 | 5 | ,950 | 7 | + 1 | |
| | 3,900 | 3 | 2 | 5 | ,903 | 3 | − 3 | |
| | 6,482 | 5 | 08 | 5 | ,484 | 5 | − 2 | |
| | 6,745 | 1 | 55 | 2 | ,752 | 1 | − 7 | |
| | 7,937 | 2 | 14 | 5 | ,938 | 3 | − 1 | |
| | 9,834 | 2 | 23 | 3 | ,834 | 2 | — | |
| | 13,640 | 2 | 13 | 5 | ,635 | 2 | + 5 | |
| | 16,736 | 3 | 07 | 5 | ,736 | 3 | — | |
| | 17,187 | 4 | 13 | 5 | ,185 | 5 | + 2 | |
| R | 18,370 | 4 | 1 | 5 | — | — | — | |
| | 18,649 | 3 | 12 | 5 | ,645 | 4 | + 4 | |
| | 19,067 | 3 | 12 | 4 | ,068 | 2 | − 1 | |
| R | 20,262 | 5 | 11 | 5 | ,261 | 6 | + 1 | |
| R | 22,915 | 6 | 13 | 5 | ,917 | 6 | − 2 | |
| | 25,644 | 2 | 14 | 4 | ,650 | 2 | − 6 | |
| | 25,949 | 3 | 15 | 5 | ,945 | 3 | + 4 | |
| | 27,918 | 2 | 1 | 5 | ,925 | 6 | − 7 | |
| | 28,084 | 3uv | 17 | 3 | ,095 | 1u | − 11 | |
| | 30,300 | 5 | 12 | 5 | ,304 | 7 | − 4 | |
| | 32,633 | 2 | 12 | 5 | ,635 | 3 | − 2 | |
| | 33,657 | 3 | 15 | 2 | ,663 | 2 | − 6 | Ca |
| | 35,819 | 3 | 16 | 5 | ,817 | 4 | + 2 | |
| | 37,334 | 1 | 16 | 4 | ,334 | 2 | — | |
| | 40,887 | 3 | 1 | 5 | ,885 | 4 | + 2 | |
| | 42,441 | 2 | 11 | 5 | ,446 | 3 | − 5 | |
| | 44,011 | 3 | 4 | 2 | — | — | — | |
| | 45,116 | 2b | 16 | 3 | ,123 | 1 | − 7 | |
| | 47,005 | 2 | 26 | 4 | ,004 | 2 | + 1 | |
| | 47,537 | 3 | 16 | 4 | ,537 | 2 | — | |
| | 48,115 | 3 | 15 | 4 | ,112 | 3 | + 3 | |
| | 48,779 | 4 | 11 | 4 | ,779 | 4 | — | |
| | 49,956 | 5 | 12 | 3 | ,956 | 4 | — | |
| | 51,165 | 5 | 12 | 5 | ,165 | 4 | — | |
| | 52,609 | 4 | 15 | 5 | ,606 | 4 | + 3 | |
| | 53,150 | 2 | 24 | 3 | ,158 | 2 | − 8 | |
| | 56,461 | 2 | 14 | 4 | ,461 | 4 | — | |
| | 56,689 | 6 | 17 | 5 | ,682 | 6 | + 7 | |
| | 57,048 | 1b | 55 | 3 | ,038 | 2b | + 10 | |
| | 61,530 | 3 | 14 | 3 | ,534 | 1 | − 4 | |
| | 63,119 | 2 | 21 | 3 | ,119 | 2 | − | |
| | 66,070 | 5 | 13 | 5 | ,069 | 5 | + 1 | |
| | 66,611 | 5ub | 17 | 5 | ,626 | 5b | − 15 | |

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| | λ | I | Δ | n | B | $I_1$ | λ−B | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3967,427 | 3 | ± 0,0016 | 4 | ,426 | 4 | + 0,001 | |
| | 67,981 | 2b | 07 | 2 | ,966 | 1 | + 15 | |
| | 68,472 | 4 | 11 | 2 | ,472 | 2 | — | Ca |
| R | 69,261 | 7 | 12 | 5 | ,263 | 7 | − 2 | |
| | 70,392 | 2 | 15 | 4 | ,394 | 2 | − 2 | |
| | 71,327 | 4 | 15 | 4 | ,328 | 4 | − 1 | |
| | 76,619 | 1 | 22 | 3 | ,622 | 2 | − 3 | |
| | 77,743 | 5 | 16 | 5 | ,747 | 5 | − 4 | |
| | 81,773 | 3 | 16 | 5 | ,776 | 3 | − 3 | |
| | 83,962 | 4 | 15 | 5 | ,964 | 5 | − 2 | |
| | 86,179 | 2 | 21 | 5 | ,178 | 3 | + 1 | |
| | 95,996 | 2b | 19 | 3 | ,989 | 1 | + 7 | |
| | 97,398 | 6 | 16 | 4 | ,398 | 6 | — | |
| | 98,055 | 4 | 13 | 4 | ,059 | 5 | − 4 | |
| | 4001,674 | 2 | 21 | 3 | ,667 | 3 | + 7 | |
| R | 5,247 | 7 | 16 | 4 | ,250 | 7 | − 3 | |
| | 6,319 | 2 | 24 | 2 | ,314 | 2 | + 5 | |
| | 7,276 | 4 | 1 | 4 | ,274 | 3 | + 2 | |
| | 9,721 | 4 | 18 | 4 | ,718 | 5 | + 3 | |
| | 14,537 | 3 | 18 | 5 | ,536 | 4 | + 1 | |
| | 17,150 | 2 | 09 | 5 | ,154 | 3 | − 4 | |
| | 21,870 | 3 | 17 | 5 | ,872 | 5 | − 2 | |
| | 24,751 | 2 | 14 | 5 | ,745 | 2 | + 6 | |
| | 30,511 | 1 | 12 | 5 | ,508 | 3 | + 3 | |
| | 30,764 | 3 | 12 | 5 | ,759 | 8 | + 5 | Mn |
| | 31,964 | 5 | 17 | 3 | ,968 | 2 | − 4 | |
| | 32,640 | 2 | 18 | 2 | ,636 | 1 | + 4 | |
| | 33,071 | 2 | 13 | 5 | ,072 | 7 | − 1 | Mn |
| | 34,486 | 3 | 15 | 5 | ,489 | 7 | − 3 | Mn, Fe |
| | 35,727 | 2 | 15 | 3 | ,729 | 1b | − 2 | Mn |
| | 40,641 | 2 | 25 | 2 | ,646 | 1 | − 5 | |
| | 41,357 | 2 | 14 | 5 | ,366 | 4 | − 9 | Mn |
| | 43,909 | 2nb | 39 | 3 | ,901 e | 2u | + 8 | |
| | 44,614 | 2 | 16 | 5 | ,617 | 2 | − 3 | |
| R | 45,820 | 8 | 2 | 5 | ,822 | 8 | − 2 | |
| | 48,753 | 1 | 18 | 4 | ,758 | 2 | − 5 | Mn |
| | 55 546 | 2u | 13 | 5 | ,555 | 2u | − 9 | Mn |
| | 62,446 | 4 | 14 | 5 | ,451 | 4 | − 5 | |
| | 63,288 | 2 | 14 | 2 | ,295 | 2 | − 7 | |
| R | 63,603 | 8 | 13 | 5 | ,604 | 8 | − 1 | |
| | 66,976 | 2 | 14 | 5 | ,983 | 4 | − 7 | |
| | 67,277 | 2 | 16 | 5 | ,279 | 3 | − 2 | |
| | 67,981 | 4b | 23 | 5 | ,987 | 5b | − 6 | |
| | 70,780 | 3 | 14 | 5 | ,780 | 2 | — | |
| R | 71,740 | 8 | 18 | 4 | ,748 | 7 | − 8 | |
| | 73,776 | 2 | 12 | 5 | — | — | — | |
| | 74,791 | 3 | 14 | 5 | ,793 | 3 | − 2 | |
| | 76,635 | 4u | 3 | 5 | ,641 | 5 | − 6 | |
| | 78,363 | 2 | 11 | 5 | ,362 | 3 | + 1 | |
| | 79,840 | 2b | 2 | 3 | ,847 | 2 | − 7 | |
| | 84,506 | 3 | 14 | 5 | ,508 | 4 | − 2 | |
| | 85,003 | 2b | 15 | 5 | ,012 | 2 | − 9 | |
| | 85,309 | 2 | 11 | 5 | ,314 | 3u | − 5 | |
| | 95,977 | 2 | 09 | 4 | ,980 | 3 | − 3 | |
| | 98,186 | 3 | 23 | 4 | ,189 | 3 | − 3 | |

Tabelle 9 (Fortsetzung).

| λ | *I* | *Δ* | *n* | *B* | $I_1$ | λ − *B* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4100,743 | 3 | ±0,0014 | 4 | ,745 | 2 | − 0,002 | |
| 7,495 | 6 | 25 | 5 | ,499 | 5 | − 4 | |
| 9,810 | 5 | 21 | 5 | ,810 | 4 | — | |
| 14,452 | 3 | 09 | 5 | ,454 | 4 | − 2 | |

Die ersten vier Spalten der Tabelle 9 beziehen sich auf meine Messungen. Sie sind in derselben Reihenfolge wie in den früheren Tabellen angeordnet. Ich gebe hier jedoch eine genauere Charakteristik der einzelnen Linien. Der Buchstabe u neben den Intensitäten besagt, wie in den früheren Tabellen, daß die Linie unscharf war. Ferner bezeichnet uv die Linie als unscharf nach violett, ur als unscharf nach rot. Falls die Linie sehr breit war, so befindet sich hinter den Intensitäten der Buchstabe b.

In den folgenden Spalten sind die Messungen Burns' enthalten. Unter *B* finden wir die Wellenlängen, welche Burns für die Linien fand. Durch den Buchstaben e in dieser Spalte wird der erhaltene Wert als schlecht bezeichnet. Die folgende Spalte gibt unter $I_1$ die Angaben Burns über die Intensität und den Charakter der Linien. Unter λ—*B* befinden sich endlich die Differenzen gegen meine Messungen. Für die Linien, welche von Verunreinigungen im Eisenbogen herrührten, habe ich das dem Elemente entsprechende chemische Symbol in die letzte Spalte gesetzt.

Wie die Tabelle zeigt, erreichen die Abweichungen der beiden Bestimmungen untereinander im Durchschnitt einige Tausendstel der Angströmeinheit, trotzdem beide Messungen an die sekundären Normalen angeschlossen waren. Die umgekehrten Linien weisen im allgemeinen eine schöne Übereinstimmung auf. Größere Differenzen treten nur in den Fällen auf, in welchen die Umkehrung sehr breit oder nicht deutlich ausgeprägt war, wie bei den Linien 3440, 3441, 4071. Ferner stimmen größtenteils Linien mittlerer Intensität gut überein. Leider reichen bei einigen Linien die Unterschiede wieder bis zu einem Hundertstel und mehr. Für manche dieser fraglichen Linien waren jedoch bei Burns schlechte Werte oder bei mir nur wenige Bestimmungen vorhanden.

Für einen weiteren Teil dürften die großen Differenzen auf die unscharfe Definition der Linien zurückzuführen sein. Hierzu gehören auch die Doppellinien, welche derart dicht zusammen liegen, daß ihre inneren Ränder nicht scharf definiert sind, wie bei den Linien 3378,6, 3379. Außerdem sind bei den breiten Linien durchweg große Unterschiede vorhanden. Die Darstellung der Linien um

3170 herum ist wenig befriedigend. Die letzteren waren jedoch in dieser Gegend bei mittlerer Intensität ziemlich breit. Die Linien aber, welche verhältnismäßig scharf definiert sind, weisen trotz sorgfältigsten Ausmessens doch noch erhebliche Unterschiede zwischen Burns' und meinen Werten auf. Trotzdem jeder Beobachter für seine Zahlen eine Richtigkeit bis zu wenigen Tausendsteln der Angströmeinheit angibt, zeigen die Werte, welche für eine ziemliche Anzahl von Linien von Burns und mir gefunden sind, bedeutend größere Schwankungen. Als tertiäre Normalen möchte ich deshalb die Linien empfehlen, für welche die von mir gefundenen Werte gegen die Messungen Burns' bis 0,003 oder 0,004 I.A. abweichen.

Diese Ergebnisse entsprechen also durchaus nicht meinen Hoffnungen, da die Abweichungen der beiden Bestimmungen untereinander über Erwarten groß sind. Eine scheinbare Verbesserung der Ergebnisse hätte ich durch Weglassen eines Teiles der Linien, für welche große Differenzen vorhanden waren, erreicht, da hierfür nur wenige Bestimmungen bei mir vorlagen. Infolge der Wichtigkeit der in Frage stehenden Aufgabe hielt ich es jedoch für angebracht, auch diese Linien zu erwähnen. Außerdem war in einigen Gegenden — wie in der Gegend von 3100—3200 — nicht die größte Anforderung an die Definition der Linien zu stellen.

Des weiteren kommt noch in Betracht, daß das Gitter, welches ich zur Anfertigung der Aufnahmen benutzte, eine bedeutend geringere auflösende Kraft besaß wie dasjenige, welches Burns verwandte. Infolgedessen mag vielleicht die geringere auflösende Kraft auf die Definition mancher Linie eingewirkt haben.

Wenn ich aber auch alle eben angeführten Mängel berücksichtige, so sind die erhaltenen Schwankungen doch größer, als ich erwartet hatte. Wie sich zeigt, bleiben nur wenige Eisenlinien als Normalen brauchbar übrig. Die Linien, welche eine gute Übereinstimmung zeigen, sind fast durchweg solche mittlerer Intensität oder umgekehrte Linien. Diese Linien können sicherlich durch mehrfache Messungen bis auf 0,002 I.A. bestimmt werden. Hingegen glaube ich, daß für die Linien geringer Intensität ohne weiteres keine größere Genauigkeit erreicht werden kann. Für diese letzteren wird keine größere Richtigkeit der Werte wie in der Kayserschen Tabelle[33]) nicht ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel zu erlangen sein.

Zur Aufstellung eines endgültigen Systems tertiärer Normalen sind noch Untersuchungen von anderen Beobachtern mit anderen Apparaten nötig. Als tertiäre Normalen werden nur die Linien brauchbar sein, welche unter den verschiedensten Umständen geringe

Schwankungen in den Tausendsteln aufweisen. Ich möchte deshalb an alle Physiker, soweit denselben erstklassige Instrumente zur Verfügung stehen, die Aufforderung richten, sobald wie möglich Bestimmungen tertiärer Normalen auszuführen.

Vorstehende Arbeit wurde im Physikalischen Institut der Westfälischen Wilhelms-Universität angefertigt. Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Konen, auf dessen Anregung hin ich diese Arbeit unternahm, danke ich für die fördernden Ratschläge herzlich, welche er meiner Arbeit zuteil werden ließ.

## Literatur.

1) A. Benoît, Ch. Fabry et A. Perot, Nouvelle détermination du mètre en longueurs d'onde lumineuses. Trans. Internat. Union f. Sol. Res. **2.** 109—137. 1907.

2) A. Michelson, Détermination expérimentale de la valeur du mètre en longueurs d'onde lumineuses. Trav. et mém. du bureau international des poids et mésures. **11.** 1895.

3) Die Wellenlänge der roten Cadmiumlinie bei 760 mm Druck und 15° ist bis auf 0,001 I. A. zu 6438,4696 gefunden.

4) H. Buisson u. Ch. Fabry, Mesures de longueurs d'onde dans le spectre du fer pour l'établissement d'un système de repères spectroscopiques. J. d. phys. (4) **7.** 169—195. 1908.

5) A. H. Pfund, A redetermination of the wave-lengths of standard iron lines. Astroph. Journ. **28.** 197—211. 1908.

6) P. Eversheim, Bestimmung von Wellenlängen des Lichtes zur Aufstellung eines Normalsystems. Zeitschr. f. wiss. Phot. **5.** 122—180. 1907.

7) Irwin G. Priest, Wave-lengths of Neon. Bulletin of the Bureau of Standards **8.** 539. 1912.

8) Charles E. St. John and L. W. Ware, Tertiary standards with the plane grating, the testing and selection of standards. Astroph. Journ. **36.** 1912.

9) H. Kayser u. C. Runge, Über die Spektren der Elemente. Abhandl. Berl. Akad. 1888.

10) H. A. Rowland, Preliminary table of solar spectrum wave-lengths. Astroph. Journ. 1—6.

11) E. A. Kochen, Der rote Teil des Eisenbogenspektrums. Zeitschr. f. wiss. Phot. **5.** 285—299. 1907.

12) J. M. Eder und E. Valenta, Wellenlängenmessungen im roten Bezirk der Funkenspektren. Wien. Ber. **11.** (8) IIa. 511—524. 1909.

13) E. J. Evans, The arc spectrum of iron λ 6865 to λ 7412. Astroph. Journ. **29.** 157—159. 1909.

14) F. Exner und E. Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck. 3. Bd. 1911 und 1912.

15) H. Kayser, Normalen aus dem Bogenspektrum des Eisens im internationalen System. Zeitschr. f. wiss. Phot. **9.** 173—185. 1911.

16) Fr. Papenfus, Die Brauchbarkeit der Koinzidenzmethode zur Messung von Wellenlängen. Zeitschr. f. wiss. Phot. **9.** 332—346, 349—360. 1911.

17a) F. Goos, Wellenlängen aus dem Bogenspektrum des Eisens im internationalen System. λ 4282—5324. Zeitschr. f. wiss. Phot **11.** 1—12. 1912.

17b) F. Goos, Wellenlängen aus dem Bogenspektrum des Eisens im internationalen System. Fortsetzung: von λ 5328 bis 6495. Zeitschr. f. wiss. Phot. **11.** 305. 1912.

18) Vgl. 8.

19) L. Geiger, Ein lichtstarker, glasfreier stigmatischer Gitterspektrograph und seine Anwendung zur photographischen Bestimmung des roten und ultraroten Eisenbogenspektrums zwischen λ 6750 und λ 9809. — Ann. d. Phys. **4.** 752—788. 1912.

20) Keivin Burns, Das Bogenspektrum des Eisens. Zeitschr. f. wiss. Phot. **12.** 207—235. 1913.

21) H. Kayser, Normalen aus dem Bogenspektrum des Eisens. Ann. d. Phys. (4) **3.** 195—203. 1900.
22) Ch. Fabry et A. Perot, Longueurs d'onde de quelques raies du fer. Compt. rend. **132.** 1264—1266. 1901. — Mesures de longueurs d'onde en valeur absolue, spectre solaire et spectre du fer. Ann. chim. et phys. (7) **25.** 98—139. 1902.
23) Vgl. 16. 24) Vgl. 16. 25) Vgl. 17b, ebenda S. 309.
26) Vgl. 17b, ebenda S. 309. 27) Vgl. 17b, ebenda S. 310.
28) Trans. Intern. Union f. Sol. Res. **1.** 238. 1906. 29) Vgl. 8, ebenda S. 47.
30) A. H. Pfund, Metallic arcs for spectroscopic investigations. Astroph. Journ. **27.** 296—299. 1908.
31) Vgl. 17b, ebenda S. 312.
32) H. Konen, Üb. d. Kruppsche Gitteraufstellung. Zeitschr. f. wiss. Phot. **1.** 1903.
33) W. Huppers, Diss. Münster 1913.
34) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie **6.** 896—926. 1912.
35) Vgl. 14, ebenda Bd. 3, S. 76—85. 36) Vgl. 35, ebenda S. 891.
37) Vgl. 35, ebenda S. 927 und folgende. 38) Vgl. 35.

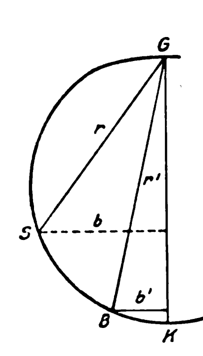
# Über den Einfluß der Temperatur auf eine Rowlandsche Gitteraufstellung.

Von

L. Grebe.

Mit einer Figur.

Es ist nicht immer möglich ein Konkavgitter, das besonders bei großen Krümmungsradien einen großen Raum beansprucht, so aufzustellen, daß die Temperatur im Gitterzimmer vollständig konstant bleibt. Andererseits ist bei den gesteigerten Anforderungen für die Genauigkeit von Gittermengen alles sorgfältig zu vermeiden, was diese Genauigkeit beeinträchtigen könnte. Das Gitter ist aber mit seinen engen Furchen ein so empfindlicher Apparat, daß es von vornherein wahrscheinlich ist, daß schon geringe Veränderungen der Furchenbreite oder des Krümmungsradius, wie sie durch kleine Temperaturänderungen hervorgebracht werden, die Exaktheit von Gittermessungen in Frage stellen. Im folgenden soll der Einfluß einer Temperaturänderung im Gitterraum für die gebräuchlichste Art einer Gitteraufstellung, nach Rowland oder auch nach Abney, untersucht werden.




Es soll zunächst eine vereinfachende Annahme gemacht werden, nämlich die, daß der Ausdehnungskoeffizient des eigentlichen Gitters mit dem des Gestelles übereinstimmt. Für die Rowlandsche Aufstellung gilt nach Runge[1]) die Gleichung

$$\left(\frac{b}{r} + \frac{b'}{r'}\right) \cdot e = m \cdot \lambda .$$

Darin bedeuten $b$ und $b'$ die senkrechten Entfernungen von Spalt $G$ und Bild $B$ von dem Durchmesser, auf dem Gitter und Kamera liegen, $r$ und $r'$ sind die Entfernungen von Gitter $G$, $e$ ist die Gitterkonstante, $m$ die Ordnungszahl des betrachteten Spektrums und $\lambda$ die Wellenlänge. Es soll nun untersucht werden, wie die Entfernung $b'$ des Bildes, die ja ganz angenähert bei der schwach gekrümmten Kassette auch die Entfernung der betrachteten Spektrallinie von der Mitte der Platte ist, sich mit der Temperatur ändert. Es ist aus der obigen Gleichung

$$b' = \frac{r'}{e}\left(m \cdot \lambda - \frac{b}{r} \cdot e\right) = \frac{r'}{e} \cdot m \cdot \lambda - r' \frac{b}{r}.$$

Nach unserer Annahme bleibt

$$\frac{r'}{e}$$

auch nach der Temperaturänderung bestehen, weil Zähler und Nenner sich mit dem gleichen Faktor $1 + \varepsilon$, wo $\varepsilon$ der Ausdehnungskoeffizient ist, multiplizieren. Der erste Teil der Differenz bleibt also konstant. Der zweite Teil ändert sich. $\frac{b}{r}$ bleibt wieder konstant und diese Konstante multipliziert sich mit $r'(1 + \varepsilon)$, ändert sich also um $\frac{b}{r} \cdot r' \cdot \varepsilon$. Bei einem großen Rowlandgitter ist $r'$ etwa gleich 650 cm, $\frac{b}{r}$ kann im Maximum den Wert 1 haben, die Änderung von $b'$ beträgt also im Maximum $650 \cdot \varepsilon$. Der Ausdehnungskoeffizient des Gittermetalls ist 0,000018,[1]) die Änderung von $b'$ also 0,117 mm pro Grad Temperaturänderung im Maximum. Für die Stellungen, in denen das Gitter meist gebraucht wird, in der ersten Ordnung, ist $\frac{b}{r}$ wesentlich kleiner, die Temperaturverschiebung also viel weniger beträchtlich. Es tritt also nur im ungünstigsten Falle unter dem Einfluß einer Temperaturänderung eine Verschiebung bis zu 0,1 mm auf. Da noch 0,001 A.-E., die bei einem solchen Gitter 0,001 mm entsprechen, gemessen werden sollen, ist eine solche Verschiebung natürlich sehr beträchtlich, wenn auch Temperaturänderungen von einem ganzen Grad sich wohl vermeiden lassen sollten. Jedenfalls muß man mit dem Nacheinanderphotographieren zweier Spektren auf dieselbe Platte vorsichtig sein; wir kommen darauf noch einmal zurück.

Wichtiger ist eine andere Frage; nämlich die, ob die Verschiebung durch Temperatur für verschiedene Linien verschieden ist. Man sieht schon aus der obigen Überlegung, daß die Wellenlänge für die Verschiebung nicht in Betracht kommt, solange man

die Größe $b'$ mit dem Abstand der Spektrallinie von der Plattenmitte identifizieren kann. Man sieht das noch besser aus der Beziehung für die Dispersion eines Konkavgitters

$$\frac{ds}{d\lambda} = \frac{m \cdot \varrho}{e \cdot \cos \frac{s}{\varrho}}.$$

Darin ist $s$ der Abstand der Linie von der Plattenmitte, $\varrho$ der Krümmungsradius des Gitters. Die übrigen Größen haben wieder dieselbe Bedeutung wie früher. In dieser Gleichung ist für die Rowlandsche Aufstellung die Größe $\frac{s}{\varrho}$ so klein, selbst wenn man die äußersten Stellen der Platte betrachtet, daß $\cos \frac{s}{\varrho}$ so wenig von 1 verschieden ist, daß das Spektrum normal genannt werden kann. Bei einer Platte von 50 cm Länge ist nach Kayser[3]) die Abweichung vom normalen Spektrum an den Enden der Platte nur 0,03 A.-E. Für diese Größe $\cos \frac{s}{\varrho}$ kommen also die durch die Temperatur verursachten Änderungen nicht in Betracht. Der andere Faktor $\frac{\varrho}{e}$ bleibt bei Temperaturänderungen wieder konstant, so daß bei einer Temperaturänderung die Dispersion des Gitters nicht geändert wird. Und das ist praktisch die Hauptsache. Wenn eine Verschiebung der Spektrallinien eintritt, so ist sie über die ganze Platte gleichmäßig, so daß nur eine Unschärfe der Linien resultiert. Da die Linien oft an sich sehr breit sind, wird man die Unschärfe oft nicht einmal wahrnehmen, da die Linie maximal um 0,1 mm verbreitert ist. Nur muß beim Aufphotographieren eines Vergleichsspektrums die Vorsicht gebraucht werden, daß man auch diese Linien sich verbreitern läßt.

Man wird also zweckmäßig das Vergleichsspektrum vor und nach der eigentlichen Aufnahme auf die Platte bringen; bei länger dauernden Aufnahmen wird man vielleicht sogar noch mehr Etappen für die Vergleichslichtquelle nehmen, damit sicher alle Temperaturschwankungen auch von der Vergleichslichtquelle mitgemacht werden. Unter der Annahme gleicher Ausdehnungskoeffizienten für Gitter und Gitteraufstellung sind also Temperaturänderungen nicht bedenklich, wenn nicht die Temperaturänderung so beträchtlich ist, daß die Unschärfe zu stark wird.

Anders wird die Sache, wenn das ganze Gitterfundament einen vom Gitter verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten hat. Wir betrachten wieder die Gleichung

$$b' = \frac{r'}{e} \cdot m \cdot \lambda - r' \cdot \frac{b}{r}. \qquad (1)$$

Ändert sich die Temperatur, so bleibt $\frac{b}{r}$, wenn wenigstens das ganze Fundament gleichen Ausdehnungskoeffizienten hat, ungeändert. Hat das Fundament den Ausdehnungskoeffizienten $\varepsilon_1$, das Gitter den Wert $\varepsilon_2$, so wird aus der Gleichung bei $1^0$ Temperaturänderung:

$$b' = \frac{r'(1+\varepsilon_1)}{e(1+\varepsilon_2)} \cdot m \cdot \lambda - r'(1+\varepsilon_1) \cdot \frac{b}{r} \cdot$$

Der zweite Teil der Differenz ergibt bei einer Temperaturänderung wieder eine über die ganze Platte gehende Verschiebung, ist also nur für die Schärfe der Linien von Bedeutung. Der erste Teil dagegen zeigt eine Abhängigkeit von der Wellenlänge und muß daher zu Messungsfehlern Anlaß geben. Wir wollen die resultierende Verschiebung für einen mittleren Spektralbezirk ausrechnen. Es ist bis auf Größen höherer Ordnung

$$\frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2} = 1 + \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

also

$$b' = \frac{r'(1+\varepsilon_1-\varepsilon_2)}{e} \cdot m \cdot \lambda - r'(1+\varepsilon_1) \cdot \frac{b}{r} \cdot$$

Die Änderung infolge der Temperaturänderung also für den ersten Ausdruck

$$\frac{r' \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{e} \cdot m \cdot \lambda \,.$$

Nehmen wir den Fall, daß das Gittergestell aus Eisen mit dem Brechungsexponenten 0,000012 besteht, so ist $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = -0{,}000006$ wenn das Gittermetall einen Koeffizienten von 0,000018 hat. Die Änderung ist also für eine Wellenlänge von 5000 A.-E. in der ersten Ordnung bei einem Gitter von 800 Linien pro Millimeter und einem Krümmungsradius von 6,50 m gleich

$$\frac{650 \cdot 0{,}000006 \cdot 0{,}00005}{0{,}00012} \text{ cm} = 0{,}0016 \text{ cm oder } 0{,}016 \text{ mm}.$$

Für die Wellenlänge 6000 A.-E. beträgt die Verschiebung 0,02 mm pro Grad, so daß also an den Enden einer Platte, auf der 1000 A.-E. abgebildet werden, eine Differenz der Verschiebung um 0,004 mm vorhanden ist. Für die Ausmessung einer Platte kommt natürlich nicht die ganze Differenz in Betracht, da einmal wegen der Messung von Linienmitte zu Linienmitte nur die Hälfte der Verschiebung, also 0,002 mm in die Messung eingeht, dann aber immer gegen Normalen gemessen wird, die einen Abstand von nicht mehr als 5 cm haben, so daß der gemachte Fehler höchstens 0,0002 mm

beträgt. Ein solcher Fehler kommt natürlich nicht in Betracht. Die verschiedene Verschiebung für verschiedene Wellenlängen erweist sich also als gänzlich unschädlich.

Der Einfluß der Temperatur auf diese mit der Wellenlänge variable Verschiebung wird auch dann noch nicht schlimm, wenn die Differenz der Ausdehnungskoeffizienten noch größer wird. Wenn das Gitterfundament etwa so massiv ist, daß es die Temperaturschwankungen während einer Aufnahme nicht mitmacht. Dann wird dieses Glied

$$\frac{r' \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot}{c} \cdot m \cdot \lambda,$$

dreimal so groß wie in dem vorhin betrachteten Falle. Die Verschiebung beträgt also 0,048 bis 0,060 mm über die Platte oder die Differenz bei der Messung von einer Normalen bis zur andern 0,0006 mm. Der Einfluß auf den andern Ausdruck in unserer Gleichung 1 ist aber noch günstiger. Es bleibt dann nämlich $r'$ konstant und da auch $\frac{b}{r}$ konstant bleibt, ändert sich dieser Ausdruck überhaupt nicht. Die Verschiebung mit der Wellenlänge ist also die einzige, die auftritt und es kommt nur noch eine kleine Unschärfe dadurch herein, daß zwar das $r'$ sich nicht ändert, wohl aber das $\varrho$, der Krümmungsradius, wodurch die genaue Fokussierung gestört wird. Diese Störung beträgt aber nur etwa 0,1 mm, kommt also nicht in Betracht. Im Falle eines großen Fundamentes also tritt überhaupt ein schädlicher Temperatureinfluß nicht auf. Als Resultat aus allem Gesagten ergibt sich, daß selbst für sehr genaue Gittermessungen Temperaturschwankungen unter einem Grad unschädlich sind.

---

## Anmerkungen.

1) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie **1.** 457.
2) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie **1.** 703.
3) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie **1.** 466.

Bonn, den 23. Oktober 1913.

(Eingegangen am 24. Oktober 1913.)

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.

Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1914. Heft 8.

# Die Unterschiede der Polspektra verschiedener Elemente im Geißler-Rohr.

Von

Bernhard Reismann.

Mit 12 Figuren im Text und 2 Tafeln.

## I. Einleitung.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, durch systematische Untersuchungen die Unterschiede der Spektra an verschiedenen Stellen der Strombahn im Geißlerrohr festzustellen. In dieser Richtung sind bereits zahlreiche Beobachtungen gesammelt worden. Sie finden sich als gelegentliche Bemerkungen in verschiedenen Abhandlungen verstreut vor. Ich nenne nur die Arbeiten von Schuster[1]), Wüllner[2]) Schniederjost[3]) über den Sauerstoff, von Leveing[4]) über das Chlorspektrum, Kalähne[5]) über Cadmiumdampf, Quecksilber, Brom, Lewis[6]) über Stickstoff und viele andere mehr. Angaben über die einzelnen Elemente findet man in den Bänden IV und V des „Handbuches der Spektroskopie" von Kayser bei den entsprechenden Abschnitten.

Bei allen diesen Arbeiten waren die Fragen, um die es sich hier handelt, von geringerer Bedeutung und demgemäß auch die Mittel der Untersuchung diesen speziellen Zwecken wenig angepaßt. So wird von fast allen Autoren, mit Ausnahme von Kalähne, der Wechselstrom eines Induktoriums benutzt. Darin liegt eine große Fehlerquelle. Und wenn auch beim Induktorium der Öffnungsstrom im allgemeinen überwiegt, so ist doch nicht sichergestellt, daß bei allen Drucken und Röhrenformen die Entladung ihren unipolaren Charakter bewahrt, soweit man überhaupt von unipolarer Entladung reden kann. Ein weiterer Nachteil des Induktors ist seine hohe Spannung. Die damit erzielten Kathodenstrahlen besitzen eine hohe Geschwindigkeit und entsprechend große Reichweite. Es ist also vorauszusehen, daß mit abnehmendem Drucke

ein von den Kathodenstrahlen direkt abhängiges Spektrum in der positiven Säule auftritt, was auch bei verschiedenen Beobachtern festgestellt ist. Der Induktor ist für diese Untersuchungen nicht zu gebrauchen.

Ferner sind alle bisherigen Beobachtungen visuell angestellt worden. Zweifellos haben okulare Beobachtungen hohen Wert, namentlich bei sehr vergänglichen Erscheinungen; aber gerade bei diesen Untersuchungen, wo es sich um die Aufdeckung feiner Unterschiede handelt, sind sie der Spektralaufnahme unterlegen.

Endlich ist meines Erachtens eine photometrische Untersuchung, wenn auch nicht direkt geboten, so doch in manchen Fällen wünschenswert. Die vorliegenden Resultate haben erwiesen, daß bei manchen Elementen die Polspektra Unterschiede rein quantitativer Art zeigen. Nun sind diese Unterschiede recht groß, so daß man durch bloße Abschätzung der Intensitäten bereits zum Ziele gelangt. Jedenfalls würde eine exakt durchgeführte photographisch-photometrische Durchmusterung dieser Spektra, die doch unter genau definierten Bedingungen zu erhalten sind, manches Wertvolle zutage fördern. Die Methoden dazu sind bereits seit langem von Schwarzschild[7]) angegeben und erprobt worden.

Das hier Fehlende sollte in dieser Arbeit ergänzt werden. Das Programm war bereits im Oktober 1909 in seinen Einzelheiten festgelegt. Die Untersuchungen sollten sich auf die Gase N, O, H, Cl, Br, J und deren Verbindungen erstrecken. Es war photographische Aufnahme der Spektra bei Anwendung hochgespannten Gleichstromes vorgesehen, und zwar mit oder ohne Oxydkathode. Durch äußere Umstände wurde das Fortschreiten der Arbeit lange gehindert; sie konnte erst im April 1913 nach 2jähriger Unterbrechung wieder aufgenommen werden.

In dieser Zeit erschienen einige Abhandlungen, die die gleiche Frage behandeln, von Gehlhoff[9]), Gehlhoff und Rottgardt[10]) und J. Stead.[11]) Gehlhoff und Rottgardt behandeln aber nur die Alkalidämpfe, so daß mein ursprünglicher Plan nicht berührt wurde. Anders mit J. J. Stead. Dieser untersucht, allerdings mit Wechselstrom und bei okularer Betrachtung, die Polspektra von Gemischen und Verbindungen auf elektrolytische Vorgänge in Geißlerschen Röhren hin. Ich habe aber trotzdem mein Arbeitsprogramm nicht geändert, da an den Methoden Steads nach den obigen Bemerkungen hin manches auszusetzen ist. Auf Einzelheiten komme ich bei Besprechung der einzelnen Elemente zurück.

## II. Hilfsmittel.

### a) Der Spektrograph.

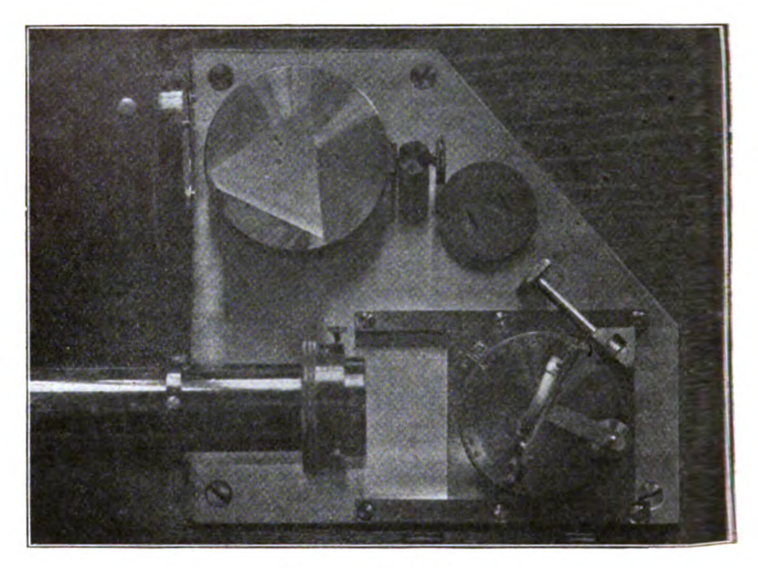
Da im Institute in Münster ein geeigneter Spektrograph nicht vorhanden war, sah ich mich vor die Aufgabe gestellt, aus dem vorrätigen Material einen solchen zu improvisieren. Bei den Schwierigkeiten, die sich beim Bau eines solchen Instrumentes entgegenstellen, war es immerhin ein gewagtes Unternehmen. Doch es gelang. Bei guter Justierung konnten die Spektralaufnahmen ohne Schwierigkeit dreifach linear vergrößert werden.

Der Apparat wurde zusammengesetzt aus einem Spalt von Krüß, einem Fernrohrobjektiv von Steinheil ($a = 40$ mm, $f = 600$ mm), einem Hilgerschen Prisma von $44 \times 60$ mm Seitenfläche aus leichtem, ganz weißem Flint ($n_D = 1{,}60$) und einer einfachen Linse als Kameraobjektiv ($a = 35$ mm, $f = 620$ mm). Die Länge des Spektrums von 650 — 350 $\mu\mu$ betrug ca. 75 mm. Kameraobjektiv und Plattenträger waren verstellbar, so daß sie in etwa wenigstens justiert werden konnten. Eine gute Einstellung war unter diesen Umständen gänzlich dem Zufall anheimgegeben. Trotzdem gelang es, das Spektrum von 650—350 in ausreichender Schärfe auf einer ebenen, geneigten Platte abzubilden. Auch die Helligkeit des Instrumentes war recht befriedigend. In ca. $^1/_2$ Sekunde erhielt ich ein vollausexponiertes Spektrum des Eisenbogens von 5 Ampère Stromstärke.

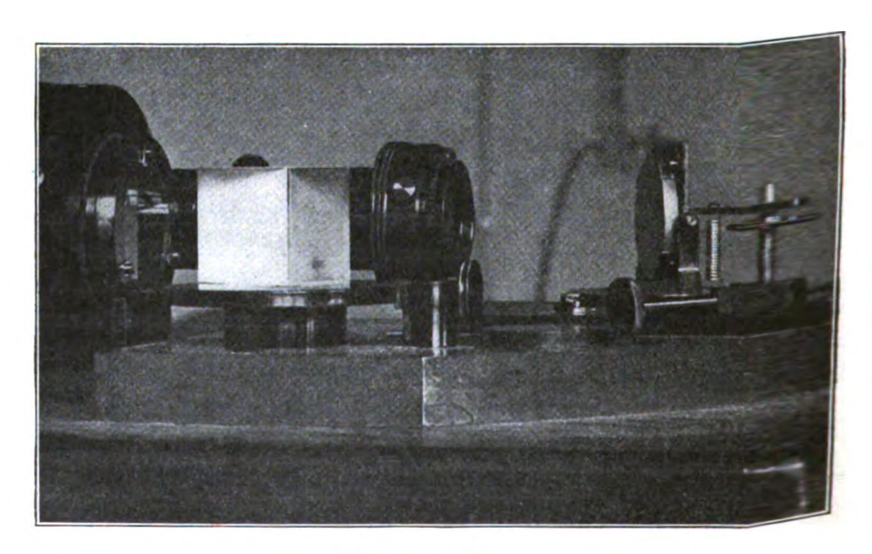
Mit diesem Instrumente sind sämtliche Aufnahmen von N, O, H und teilweise auch Br und Cl erhalten. Als ich nach zweijähriger Unterbrechung im April 1913 die Arbeiten wieder aufnahm, hatte ich mir inzwischen einen größeren Spektrographen (II) anfertigen lassen, auf den ich näher eingehen möchte; er ist nach den Vorschlägen von Wadsworth[12]) im Verein mit Herrn Rektor Brandt (Dahlhausen) konstruiert worden, und zwar als festarmiger Spektrograph (Figur 1 u. 2).

Die Optik des Instrumentes besteht aus einem Apochromaten von Zeiß (Jena) ($a = 40$ mm, $f = 720$ mm), einem Planspiegel ($r = 25$ mm) mit Palladiumbedeckung von Hilger (London), dem oben erwähnten Glasprisma und einer einfachen Linse von Hilger als Kameraobjektiv ($a = 50$ mm, $f = 1200$ mm für $D$). Diese letztere ist soweit sphärisch korrigiert, daß Strahlen $3^0$ außer der Achse scharf abgebildet werden. Sie ist aus demselben Glase geschnitten wie das Prisma; und darum hoffte ich in Verbindung mit dem

Apochromaten als Kollimator ein ebenes Spektrum auf geneigter Platte zu erhalten nach den Untersuchungen von J. Hartmann.[13])



Figur 1. (1 : 3,5)



Figur 2. (1 : 3)

Der zwischen Kollimator und Prisma eingeschaltete Planspiegel soll die Strahlen so ablenken, daß eine Gesamtablenkung von 180°

entsteht. Die Achsen von Kollimator und Kamera liegen also nebeneinander parallel auf einem gemeinsamen, schweren Eichenbrett als Grundlage. Dadurch gewinnt das Instrument an Gedrungenheit und Stabilität, was für feinere Arbeiten wesentlich ist. Kollimator, Spiegel, Prisma und Kameraobjektiv sind auf einer soliden, gegossenen Messingplatte von 15 kg Gewicht montiert, wieder zur Erhöhung der inneren Festigkeit. Dabei ist der Spiegelträger in Schwalbenschwanzführung in der Richtung der optischen Achse des Kollimators verschiebbar. Auf diesem Schlitten ist ein drehbares Tischchen angebracht, das selbst wieder eine Gabel für die Spiegelfassung trägt. In dieser Gabel ist der Spiegel durch Mikrometerschraube um eine horizontale Achse drehbar. Das Tischchen wiederum wird durch eine Mikrometerschraube um eine vertikale Achse gedreht. Die Schraube ist mit geteiltem Kopf versehen, so daß der reflektierte Strahl jederzeit in eine ganz bestimmte Richtung eingestellt werden kann. Übrigens ist das Tischchen den praktischen Bedürfnissen entsprechend nur innerhalb $2-3^0$ drehbar und darum auch fest mit der Mikrometerschraube verbunden. Die Einrichtung entspricht ungefähr der Mikrometerschraube mit Wellenlängenskala der Hilgerschen Spektroskope. Die Spiegelnormale besitzt also 3 Freiheitsgrade und kann allen Anforderungen entsprechend eingestellt werden.

Das Prisma ruht auf einem drehbaren Tischchen, das am Rande nur eine einfache Gradteilung trägt. Diese ist für alle Fälle ausreichend.

Da das Kameraobjektiv festgeschraubt ist, muß die Kamera selbst zwei Freiheitsgrade haben; sie ist parallel mit sich in der optischen Achse verschiebbar und außerdem um eine vertikale, durch die Schicht der photographischen Platte gehende Achse zu neigen. Der Plattenträger ist aus hartem Holz gefertigt und gleitet auch mit etwas Spielraum zwischen hölzernen Schienen, die eine Millimeterteilung tragen. Die Neigung wird an einem einfachen Gradbogen bis auf $^1/_2$ Grad abgelesen. Der Plattenträger hat die Gestalt eines Kastens von 6 cm Höhe und 22 cm Länge bei 3 cm Tiefe. Auf der Rückwand ist ein Schlitz von $2 \times 16$ cm angebracht, gegen den die photographische Schicht mit Federn gedrückt wird. Da die Kassetten nicht anzubringen sind, müssen die Platten in völliger Dunkelheit eingelegt werden. Dieser Nachteil wird aber durch die Einfachheit der Konstruktion wettgemacht. Sollen mehrere Spektra auf einer Platte übereinander photographiert werden, so

wird der Spalt durch eine verschiebbare Blende von 1 mm Öffnung abgedeckt. Bei jeder neuen Aufnahme wird die Blende verschoben, wodurch andere Teile des Spaltes frei werden. Zur Abblendung falschen Lichtes dient ein langer Holzkasten; der lichtdichte Abschluß der Enden erfolgt durch schwarzes Tuch.

Die Justierung dieses Instrumentes konnte nun ganz systematisch durchgeführt werden. Zur Fokussierung des Kollimators richtete ich diesen wie ein Fernrohr auf einen entfernten Gegenstand und verstellte den Spalt solange, bis das Bild in der Spaltebene scharf erschien. Die Einstellung auf das Minimum ($\lambda$ 4500) erfolgte nach dem von Joye[14]) angegebenen Verfahren. Bei dieser Stellung verteilte sich das Spektrum von 5900—3500 symmetrisch zur optischen Achse. Diese selbst bestimmte ich durch Drehung der Kamera. Zur Berechnung der Fokalkurve verschob sich die Platte um je 1 cm, und untersuchte diejenigen Stellen, wo das Eisenspektrum am schärfsten war. Für die Berechnung siehe Hartmann loc. cit.

Das Endergebnis längerer Versuche war, daß das Eisenspektrum auf einer um 42° geneigten Platte in einer Gesamtlänge von 150 mm gleichmäßig scharf erschien und dabei den Spektralbereich 5900—3500 umfaßte. Über die Dispersion als Funktion der Wellenlänge gibt die beistehende Tabelle Auskunft.

| | |
|---|---|
| $\lambda$ 5890 | 1 A.-E. = 0,04 mm |
| $\lambda$ 440 | 1 A.-E. = 0,067 mm |
| $\lambda$ 362 | 1 A.-E. = 0,125 mm |

Nimmt man mit Lord Rayleigh bei 6 cm Basisdicke ein Auflösungsvermögen von 6000 bei $\lambda$ 589 an, so erhält man für die anderen Wellenlängen der höheren Dispersion entsprechend ein Trennungsvermögen von 0,6 A.-E. bei $\lambda$ 440 und 0,3 A.-E. bei 362. In der Tat konnte die Liniengruppe im Eisenspektrum bei 3583 photographisch noch eben aufgelöst werden. Bei visueller Beobachtung ist, wie bekannt, die Leistung eines solchen Instrumentes größer. So konnte ich z. B. leicht die Selbstumkehr der Na-Linien beobachten, und die roten Kohlebanden bequem auflösen. Die optischen Teile des Instrumentes entsprachen also billigen Forderungen.

b) Die Spektralröhren.

Die Form der Spektralröhren wurde während der Arbeit häufig verändert; jedoch hielt ich im allgemeinen an weiten, kugeligen

Formen fest. Am meisten wurde eine einfache Kugel (I) von 10 cm Durchmesser mit zwei Schliffen oben und unten für die Elektroden benutzt (s. Figur 3). Die Elektroden standen im Abstand von 30 mm senkrecht übereinander. Ein vollständiges Bild der Verteilung der Emission in der Entladungsbahn konnte also mit einer einzigen Aufnahme erhalten werden. Einen Nachteil hat diese Röhrenform: Benutzt man höhere Spannungen bis 1400 Volt und dabei niedrigen Druck, so dringen die Kathodenstrahlen bis zur Anode vor; es kann also eine Vermischung der Polspektra eintreten. Wie aber unter Umständen trotzdem eine sichere Trennung der Spektra zu erzielen ist, wird beim Bromspektrum kurz beschrieben.



Figur 3. (1 : 4)
Röhre I.

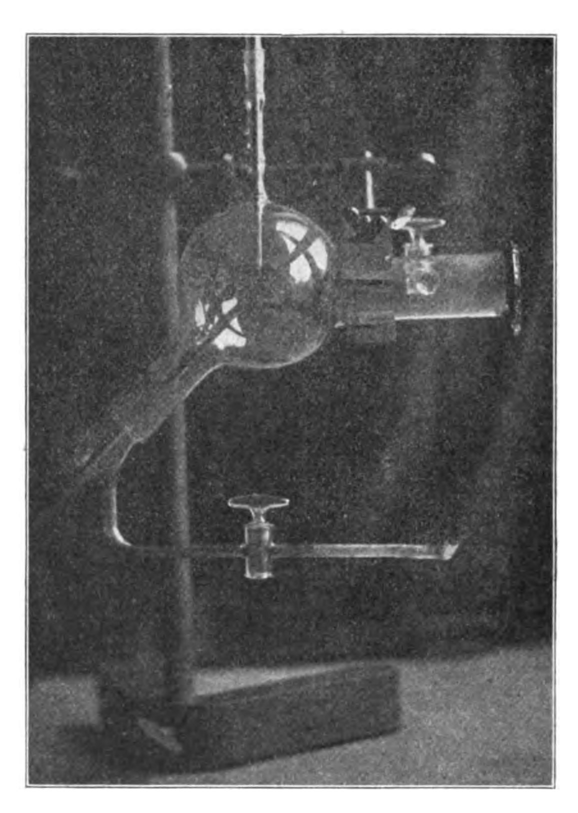
Bei höheren Stromstärken und Füllung mit Halogenen bildeten sich an den Wänden der Röhre Verbindungen aus dem Elektrodenmetall und dem Gasinhalt. Dadurch wurde die Röhre nach kurzer Zeit trübe und unbrauchbar. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, ließ ich an die Kugel ein 6 cm weites, 10 cm langes Ansatzrohr anfügen, das vorn mit einer Glasplatte verschlossen war (R. II, s. Figur 4). Außerdem wurde dafür gesorgt, daß das frisch eintretende Gas durch diesen Ansatz in das Rohr trat. So habe ich Dauerexpositionen bis zu 10 Stunden durchführen können ohne Trübung des Fensters. Ähnliches ist ja auch schon von Goldstein unternommen.

Bei den Gasen N, O, H führte sich die Kathode mit Schliff in ein längeres seitliches Rohr ein, um so eine gut entwickelte positive Säule zu erzielen (R. III).

c) Elektroden.

Bei den Versuchen mit Glimmentladung machte ich einige Beobachtungen, die meines Wissens neuartig sind. Bei der Oxyd-

kathode hatte sich gezeigt, daß an Stellen, wo das Platinblech eingeknickt war, ein intensives, scharfes Kathodenstrahlbündel austrat. Diese Erscheinung suchte ich bei gewöhnlicher Glimmentladung willkürlich zu reproduzieren, indem ich an der Nickelkathode ($r = 5$ mm, $h = 10$ mm) eine seitliche auf den Spektrographen ge-



Figur 4. (1 : 7)
Röhre II.

richtete Bohrung anbrachte. Bei Anlegung der Spannung (1000 Volt) bemerkte ich, daß aus dem Loch ein intensives Kathodenstrahlbündel austrat, das sich im weiteren Verlaufe mit der zweiten negativen Glimmschicht vermischte (s. Figur 5). Die massive Kathode geriet alsbald in helle Rotglut, das Metall verdampfte und die Ni-Linien erstreckten sich durch die ganze Entladungsbahn. Zugleich trübte sich die Kugel durch die entstehenden chemischen Verbindungen. Darum war ich genötigt, die Belichtungszeiten auf 30 Sekunden zu beschränken und dann der Elektrode 1 Minute

zur Abkühlung zu lassen. Die Erscheinung wurde in allen Gasen beobachtet. Der unmittelbare Vorteil für meine Arbeit lag darin, daß die Lichtstärke der Entladung an der Kathode selbst außerordentlich gesteigert wurde, schätzungsweise auf das 20fache. So konnten die negativen Sauerstoffbanden in 4—6 Minuten photographiert werden.

Nimmt man die Temperatur der Kathode zu 700° an, was sicherlich nicht zu hoch gegriffen ist, so zeigt die Rechnung, daß in etwa 1 Minute 350 cal erzeugt werden müssen. Nimmt man anderseits einen Kathodenfall von 700 Volt an, so berechnet sich die zur Erzeugung von 350 cal erforderliche Stromstärke zu 2 Amp. Sie betrug aber höchstens 0,05—0,1 Amp. Es müssen also noch andere Umstände zur Erzielung der hohen Temperatur mitgewirkt haben.




Figur 5. (1 : 1,5)
Kathode mit Öffnung von der Seite gesehen.
*a* ist Reflex am Glase der Röhre.

Die Erscheinung hat ihren Ursprung offenbar in der Höhlung in der Kathode. Ich möchte daher Folgendes als Ursache für die Erscheinung ansehen. Von den Seitenwänden der Öffnung treten freie Elektronen aus, die bei der kurzen Weglänge mit fast unverminderter Geschwindigkeit die gegenüberliegende Metallwand treffen. Dabei setzt sich ihre kinetische Energie in Wärme um. Ist nun einmal die innere Wandung zur Glut gebracht, so tritt hier vermehrte Elektronenemission auf. Dazu kommt noch, daß die die Elektronen aussendende Wandfläche bedeutend größer ist als die Austrittsöffnung (in diesem Falle etwa 4mal so groß). Daraus ergibt sich eine vermehrte Dichte der Elektronen, und dementsprechend erhöhte Helligkeit der strahlenden Öffnung.

Nimmt man diese Gedanken als Hypothese an, so sind die Richtlinien für weitere experimentelle Behandlung der Frage vorgezeichnet. Ich habe jedoch die Sache nicht weiter verfolgt, da sie zu sehr vom Thema abführte.

Die Oxydkathode wurde in der von Konen und Jungjohann zuerst angegebenen Weise benutzt, d. h. ohne Heizstrom.

Neben der Untersuchung der angegebenen Gase habe ich noch einige Metalldampfspektra im Vakuum studiert. Bei Verwendung von Oxydkathoden ist es ja leicht, Metalle zum Verdampfen

zu bringen. Ich machte mir dabei die Erfahrungen von Janicki[15]) zunutze und gebrauchte als Anode einen Porzellanbecher, wie er zur Isolation elektrischer Leitungen verwendet wird. Seine lichte Weite betrug 4 mm, seine Höhe 8 mm. Dieser Becher wurde auf den Zuleitungsdraht aus Nickel aufgesetzt und an der Gebläselampe mit schmelzendem Metall gefüllt. Irgend welche Schwierigkeiten habe ich dabei nicht gehabt. Der metallische Kontakt mit dem Anodendraht wurde elektrisch geprüft; er war stets ausgezeichnet. Untersucht wurden in dieser Weise die Spektra von Hg, Zn, Cd, Sb, Bi, Pb, Ag.

Bei diesen Versuchen war die ausgezeichnete Hochspannungsbatterie des Institutes in drei Abteilungen von je 320 Volt Spannung zerlegt, und diese waren unter sich parallel geschaltet. Dazu war das städtische Netz mit 440 Volt in Serie geschaltet. So konnte ich der Leitung bei 760 Volt bis 3,6 Amp. entnehmen. Die meisten der untersuchten Metalle verdampfen schon bei 0,5—0,8 Amp. In der Regel betrug die Stromstärke 0,9 Amp., nur zuweilen wurde sie auf 2,5 Amp., d. h. 25 Amp. pro 1 qmm auf der Anode erhöht. Hohe Stromstärke drängt die N-Banden zurück.

### d) Justierung der Röhren.

Im allgemeinen war die Lichtstärke der Entladung bei Glimmstrom nur gering. Erst in unmittelbarer Nähe der Röhre war normaler Zeitungsdruck zu lesen. Unter diesen Umständen war eine exakte Justierung des Bildes der Entladung auf dem Spalt unmöglich. Ich suchte diese Schwierigkeit zu umgehen, indem ich hinter der Röhre den Eisenbogen, der auch das Vergleichsspektrum lieferte, aufstellte. Von diesem wurde zunächst ein scharfes Bild auf dem Spalt entworfen, darauf eine Kondensorlinse vor den Bogen gesetzt und in den Strahlengang die Röhre. Diese verschob ich seitlich, bis ein scharfes Schattenbild auf dem Spalt entstand. In der Regel durchschnitt der Spalt die Elektroden ganz symmetrisch. Die Justierung wurde während der Aufnahme öfters geprüft.

### e) Auswertung der Platten.

Im Interesse größter Objektivität glaubte ich anfangs alle Platten ausmessen zu müssen, und darum hatte ich bereits eine Reihe der besten Aufnahmen unter der Meßmaschine des Physikalischen Instituts vermessen, wobei gleichzeitig die Schwärzungen

nach einer 5-stufigen Skala abgeschätzt wurden. Bei einer Revision des Materials zeigte sich jedoch, daß meine Schwärzungsskala großen Schwankungen unterworfen war, daß z. B. Linien, die an beiden Polen in gleicher Intensität vertreten waren, als ungleich hell angegeben waren. Das kann nicht weiter verwundern, da im engen Gesichtsfeld des Mikroskops nur ein kleiner Teil jeder Linie sichtbar war und zwischen den Beobachtungen an derselben Linie ein Zeitraum von mehreren Stunden lag. Ich habe darum diese Zahlen nicht berücksichtigt und ein für diesen Zweck besseres Verfahren gewählt.

Auf den Platten wurden in Abständen von 10 mm Linien identifiziert durch Vergleich mit den Spektren des Atlasses von Konen und Hagenbach. Die zwischenliegenden Linien wurden unter der Lupe an einem Millimetermaßstab abgelesen, wobei noch die Zehntelmillimeter und auch die Helligkeiten von Anode, Kathode und in der positiven Säule geschätzt wurden. Damit sind die Helligkeiten, auf die es besonders ankommt, erheblich genauer festgelegt. Zur Ableitung der Wellenlängen benutzte ich das neu erschienene Dispersionsnetz von J. Hartmann (Schleicher und Schüll, Düren). Die Ergebnisse, die ich damit erzielte, waren recht genau. Die Interpolationskurve verlief durchaus geradlinig. In den mittleren Teilen des Netzes waren die Angströmeinheiten noch abzulesen, nach den kleineren Wellen stieg die Genauigkeit entsprechend. Das Dispersionsnetz gibt die Wellenlängen also bis auf 1—2 A.-E. Schwierigkeiten bei der Identifikation waren darum nicht vorhanden. Bei diesem Meßverfahren konnten etwa 30 Linien per Stunde bearbeitet werden.

Bei der mikroskopischen Vermessung der Platte war, wie zu erwarten, eine beträchtliche Anzahl von Linien, namentlich der schwächsten, übersehen. Bei der neuen Durchmusterung wurden sämtliche Linien berücksichtigt, die eben mit Sicherheit zu erkennen waren. Die Tafeln geben demnach ein fast vollständiges Verzeichnis aller Linien der betreffenden Elemente im Bereiche 3600—5000 A.-E.

Die Tabellen sind so angeordnet, daß die erste Spalte die Wellenlängen nach dem Kayserschen Handbuch und auch die dort angegebenen Intensitäten enthält. Die zweite und dritte Kolonne enthalten meine Helligkeitsschätzungen nach den 5 Stufen: ww = sehr schwach, w = schwach, m = mittelstark, s = stark, ss = sehr stark. Zu einer zahlenmäßigen Verrechnung des Materials setze ich an: ww = 1, w = 2, m = 3, s = 4, ss = 5 und betrachtete dabei diese

Zahlen als Exponenten zur Basis 2. Nach meiner subjektiven Auffassung schienen diese Zahlen den tatsächlichen Verhältnissen am besten angepaßt. Die Ziffern 1—5 sind also die Logarithmen der Intensitäten, ihre Differenz ist in Spalte 4 eingetragen, und zwar als Logarithmen des Verhältnisses: Helligkeit an Kathode zu Anode. Diese Intensitätsbezeichnungen sind ja dem Astronomen geläufig und empfehlen sich durch ihre Einfachheit. Allerdings sind dort die Zahlen etwas anders gewählt.

In den letzten Spalten sind Angaben anderer Autoren zum Vergleich mit herangezogen.

Ich gehe nunmehr zur Besprechung der einzelnen Elemente über.

## III. Resultate.

### A. Allgemeine Bemerkungen.

#### 1. Brom.

An Bromspektren hatte ich eine größere Anzahl zur Verfügung, die teils mit Spektrograph I, teils mit II erhalten sind. Die Expositionszeiten variierten stark von Aufnahme zu Aufnahme. Bei dem Spektrographen I betrug die Expositionszeit durchschnittlich 10 Minuten für Glimmentladung, 30 Sekunden für Bogenentladung; die entsprechenden Zahlen für Spektrograph II sind 4 Stunden und 3 Minuten. Dieser große Unterschied ist wohl nicht durch die geringere Lichtstärke vom Spektrograph II zu erklären, sondern eher durch den Umstand, daß die Batterie des Institutes durch einen vorübergehenden Defekt nicht 1400, sondern nur 800 Volt hatte. Die Nickelkathode kam also nicht zu heller Glut, wie bei den früheren Versuchen.

Die Stromstärke bei Bogenentladung hielt ich im allgemeinen auf 0,5 Amp.

Das Brom wurde in allen Fällen in einen seitlichen Ansatz mit Schliff gefüllt, der noch mit einem Hahn verschließbar war. Der Dampf strömte über $P_2O_5$ durch die Röhre, über Ätzkalistangen in die Gerykölpumpe. Vor Beginn der Untersuchung wurde etwa fünfmal das ganze Röhrensystem mit Bromdampf durchspült, bis die letzten Reste Stickstoff verschwunden waren. Dann erst begann die Aufnahme. Während der längeren Expositionen führte ich etwa alle halbe Stunde frischen Bromdampf zu. Der Druck mag schätzungsweise 0,5 mm betragen haben.

Farbe. Das Kathodenlicht ist bei Glimmentladung blaßgrün gefärbt, die positive Säule purpurrot. An der Kathode sind es also vornehmlich die grünen Strahlen, die für den Farbenton der Entladung ausschlaggebend sind, allerdings in Verbindung mit der erhöhten Empfindlichkeit des Auges für diese Strahlung. In der positiven Säule müssen die grünen Linien relativ zurücktreten. Hier wird der Farbton durch die helle Liniengruppe bei 448 und vor allem den kontinuierlichen Untergrund bestimmt, der bei 438 einsetzt und sich bis zur Grenze des Spektrums bei 350 ausdehnt. Übrigens zeigt auch das negative Glimmlicht dieses kontinuierliche Gebiet in gleicher Ausdehnung und Abstufung der Schwärzung, wenn auch nicht in gleicher Intensität.

Bei Bogenentladung nimmt die positive Säule eine mehr weißliche Farbe an, die Kathode dagegen erscheint intensiv rot. Diese Farbenänderung wird durch die Spektralaufnahmen bestätigt und erklärt. Bei Bogenentladung enthält die positive Säule alle Linien des negativen Glimmlichts, was bei Glimmentladung nicht der Fall ist (siehe weiter unten). Dadurch wird der Schwerpunkt der Emission mehr zum Blau gerückt. An der Kathode aber treten die Calciumbromidbanden auf, die zuerst Olmsted[16]) untersucht hat. Im Bereiche 380—420 erscheinen acht kräftige Gruppen, die die Linien dort zum Teil verdecken. Sie wirken jedoch weniger auf das Auge ein, als die Banden im Rot, die also auch die Farbe des Kathodenlichtes bestimmen. Diese Banden erscheinen am besten bei 0,4—0,6 Amp., bei ganz hohen Stromstärken (bis zu 2,7 Amp.) sind sie schwach angedeutet.

## 2. Chlor.

Vom Chlor wurden eine größere Zahl Spektren erhalten, indem ich $AuCl_2$, $SnCl_4$, $CCl_4$, HCl in einen seitlichen Ansatz einführte, genau wie beim Brom. Besondere Sorgfalt wurde auf die Trocknung der Gase gelegt, da die Elektroden bei Anwesenheit von Feuchtigkeit schnell angegriffen wurden. Beim Spektrographen II erstreckten sich die Expositionen bis zu mehreren Stunden, z. B. für HCl 10 Stunden. Bei Spektrograph I aber nur auf einige Minuten. Die Ursache hierfür ist die gleiche wie beim Brom.

Farbe der Entladung. Die Farbe der Glimmentladung in den genannten Dämpfen ändert sich mit der Substanz selbst und hängt natürlich auch von den vorhandenen Verunreinigungen ab.

Bei **$SnCl_4$** ist die positive Säule rein himmelblau, das Kathodenlicht grün. Das Spektrum enthält außer Chlorlinien noch $H_\beta$, $H_\gamma$ und die zwei hellen Bogenlinien des Zinns: 4524,95; 3801,03, von denen die erstere wohl stark an der Bestimmung der Farbe der positiven Säule mitgewirkt hat. Beide Linien erstrecken sich ohne Verminderung ihrer Intensität von Pol zu Pol. An weiteren Zinnlinien enthält das Spektrum nur mehr die Funkenlinie 5589,2, diese aber nur unmittelbar an den Polen. Die Cl-Linien sind durchweg auf die Nachbarschaft der Elektroden beschränkt.

Charakteristisch für das Spektrum ist ein heller kontinuierlicher Untergrund, der von der Anode aus steil abfallend sich durch die positive Säule bis zur Kathode ausdehnt und hier auch noch gut hervortritt. Unmittelbar an der Anode ist er so stark, daß die Linien dort nur mit Mühe zu erkennen sind. Er wird sichtbar bei $\lambda$ 580, erreicht ein schwaches Maximum bei 560, bleibt während des Minimums der Empfindlichkeit des Films (Schleußner „Viridin") noch sichtbar, steigt dann aber bei 490 beginnend zu einem breiten Maximum bei 413—470 an und verläuft dann langsam gegen $\lambda$ 350. Die Expositionszeit war $7^1/_2$ Stunden.

Bei **$CCl_4$** ist die positive Säule weißlich-grün, die Kathode hellgrün. Die Färbung der positiven Säule und der Kathode hängt zusammen mit dem Auftreten der CO u. Cy-Banden; N-Banden sind nur ganz schwach angedeutet. Alle Banden sind an der Anode stark, nehmen durch die positive Säule zur Kathode hin ab, sind aber dort noch deutlich sichtbar. Das kontinuierliche Spektrum ist dem des $SnCl_4$ durchaus ähnlich, jedoch weit weniger intensiv; Cl-Linien erscheinen vornehmlich an der Kathode; an der Anode fehlen sie nicht, sie sind dort nur erheblich schwächer.

In **HCl**-Gas ist die positive Säule rosafarben, das Kathodenlicht wieder grün. Die Lichtstärke war so gering, daß ich bis 10 Stunden exponieren mußte. Diese Aufnahme zeigt an der Kathode ein vorzüglich ausgebildetes Chlorspektrum. An der Anode sind davon nur Spuren zu sehen; doch lassen sich wieder die hellsten Linien identifizieren. Die positive Säule enthält nur die Stickstoffbanden in sehr geringer Stärke und ebenso die Linien des Wasserstoffserienspektrums. An der Anode ist aber auch das zweite Wasserstoffspektrum zu sehen. Die stärksten Linien dieses Spektrums senden kleine Ausläufer in die positive Säule hinein. Sie tauchen an der Kathode wieder auf, sind aber dort so lichtschwach, daß sie erst durch sehr sorgfältige Untersuchungen nachgewiesen werden können.

Auf den ersten Blick hin scheint daher an der Kathode nur ein Chlorspektrum, an der Anode ein reines Wasserstoffspektrum zu sein, während in Wahrheit eine Vermischung bei der Spektra an beiden Polen eintritt.

Das aus $AuCl_3$ entwickelte Chlorgas war leider nicht ganz frei von CO, dessen Banden wieder die ganze Entladungsbahn erfüllten. Die Säule war mehr weiß-grün, die Kathode grün. Die Resultate aus dieser Platte sind in der unten folgenden Tabelle angegeben. Auf einer zweiten $AuCl_3$-Platte, die mit Spektrograph I erhalten war, fanden sich anstatt des kontinuierlichen Spektrums Kanten mit Abschattierung nach Rot zu. Die Wellenlängen der Kanten sind ungefähr: 4715, 4625, 4563, 4395, 4282, 4212, 4142, 4102, 3992, 3929, 3875. Der Druck war bei dieser Aufnahme besonders hoch gewählt. Damit hängt vielleicht das Auftreten dieses Spektrums zusammen.

## 3. Jod.

Das Jodspektrum war bei der verhältnismäßig hellen Entladung in zwei Stunden zu erhalten. Ich führte Jod direkt in die Röhre ein, evakuierte soweit als möglich und ließ die Substanz durch einen kleinen Bunsenbrenner in der Röhre sublimieren. An einzelnen Stellen der Röhre wurde die Temperatur gemessen. Sie betrug im Mittel 35° C entsprechend einem Dampfdruck von ca. 0,7 mm. Dieser Druck wurde während der ganzen Exposition konstant beibehalten.

Farbe der Entladung. Die Farbe der Entladung ist bereits öfters beschrieben. Die positive Säule hat die Farbe der Pfirsichblüte, das Kathodenlicht dagegen ist stahlgrau und mit orangefarbigem Ring umgeben.

Charakteristisch für das Jodspektrum ist eine außerordentlich intensive kontinuierliche Emission, die die ganze Entladungsbahn erfüllt, und nur im Kathodendunkelraum fehlt. Sie ist nicht so gleichförmig wie beim $SnCl_4$-Spektrum, sondern besitzt mehrere wellenförmige Maxima, so daß man hier vielleicht ein Bandenspektrum mit Kanten vermuten könnte. Das scheint jedoch nicht der Fall zu sein, denn bei der relativ kleinen Dispersion würden etwaige Kanten sehr scharf hervorgetreten sein. Ich gebe die Wellenlängen der Maxima an: 476 bis 471, 467—466, 463—460 (s!), 457, 449—445, 439—434, 432—417, 411—399 auslaufend nach 384. Linien sind nur in ganz geringer Zahl in der positiven Säule

vorhanden, hingegen findet sich an der Kathode das vollständige Jodspektrum.

## B. Diskussion der Spektraltabellen.

### 1. Brom.

Bei der Betrachtung der Spalte 4 in Tabelle 1 fällt sogleich auf, daß die positiven Differenzen dort überwiegen, entsprechend einer im allgemeinen größeren Helligkeit des Kathodenspektrums. Um so deutlicher treten einige Differenzen mit negativem Vorzeichen hervor und, wie der Vergleich mit Spalte 5 u. 6 lehrt, sind es diejenigen Linien, die durch Kapazitätseinschaltung geschwächt werden ($C_0$). Der Einfluß der Kapazität auf das Bromspektrum ist eingehend von Goldstein[17]) und Galitzin und Wilip[18]) untersucht worden. Nach den Angaben dieser Autoren werden einige Linien verstärkt ($C_v$), andere geschwächt ($C_0$) und sogar ausgelöscht. Vergleicht man nun die in der positiven Säule als verstärkt bezeichneten Linien mit denen, die nach Goldstein, bzw. Galitzin und Wilip durch Kapazität geschwächt werden, so ergibt sich eine interessante Übereinstimmung zwischen diesen Beobachtungen. In 22 Fällen ist Übereinstimmung vorhanden, in 4 Fällen nicht. Es sind dies die Linien 4472,8, 4175,9, 3888,7, 3801,7. Die beiden letzteren scheiden aus, da sie bei Galitzin und Wilip fehlen oder vielleicht übersehen sind; Goldstein dringt nicht soweit in das Ultraviolett vor. Es bleiben demnach nur mehr zwei Abweichungen bestehen, die aber meines Erachtens die Allgemeingültigkeit der oben angedeuteten Gesetzmäßigkeit nicht beeinträchtigen können.

Vergleicht man weiterhin das Spektrum des negativen Glimmlichtes (Tafel I) mit der Aufnahme, die Konen und Hagenbach in ihrem Atlas geben, so bemerkt man sogleich, daß dort die „Linien der positiven Säule“ sehr stark im Vergleich zu den übrigen geschwächt erscheinen, einige Linien sogar gänzlich fehlen. Konen und Hagenbach haben aber das Bromspektrum unter Einschaltung von Kapazität erhalten.

Zieht man andererseits diejenigen Linien mit großen positiven Differenzen heran, die also an der Kathode besonders stark wenn nicht dort allein, auftreten so sieht man eine enge Beziehung zu den Linien, die durch Kapazität verstärkt werden ($C_v$). Dazu müssen noch die bei de Gramont[19]) und Scharbach[20]) vermerkten Linien gezählt werden. De Gramont und Scharbach haben bekannt-

lich starke Funkenentladungen nach Bromsalzen schlagen lassen und die Spektra dieser Entladungen studiert, de Gramont im sichtbaren Spektrum, Scharbach anschließend an Goldstein im Ultraviolett.

Dieser letztere Vergleich legt also den Gedanken nahe, eine enge Beziehung zwischen dem Spektrum des negativen Glimmlichtes und dem Funkenspektrum des Broms zu suchen, derart, daß Funkenspektrum an der Kathode erscheint.

Das Spektrum der positiven Säule weicht vom Kathodenspektrum gänzlich ab.

Damit ist also eine völlige Zerlegung des Bromspektrums in zwei verschiedene Spektra nachgewiesen; das eine gehört der positiven Säule an, das andere dem negativen Glimmlicht. Das letztere ist das Funkenspektrum.

Diese Scheidung ist namentlich auf Tafel I reinlich durchgeführt; andere Aufnahmen zeigen aber, daß das Kathodenspektrum auch in der positiven Säule erscheinen kann, wenn auch mit sehr verminderter Intensität. Es liegt daher nahe, zu fragen, ob dieses Funkenspektrum tatsächlich für die Kathode noch charakteristisch ist, mit anderen Worten, ob es bloß an die Kathode gebunden ist oder nicht.

Bevor ich auf die Beantwortung dieser Frage näher eingehe, muß ich zunächst die Bedingungen erläutern, unter denen die verschiedenen Spektren erhalten sind.

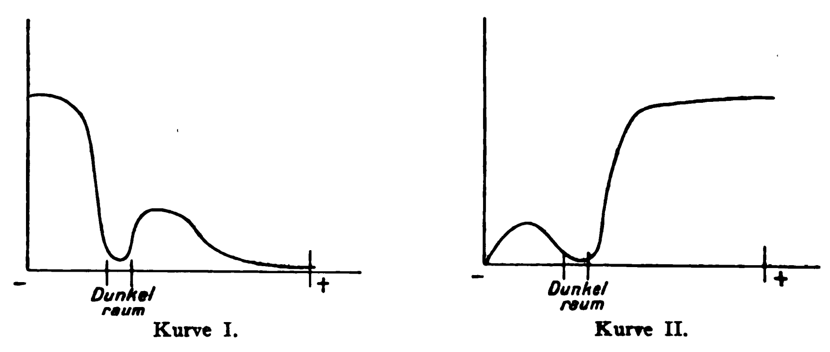
Bei Aufnahme auf Tafel I hatte infolge eines Defektes die Batterie nur 800 Volt Spannung in Verbindung mit hohem inneren Widerstand. Die Nickelkathode erreichte nicht die Rotglut und die Energie der Kathodenstrahlen wird bei der minimalen Stromstärke nur ganz gering gewesen sein.

Anders bei den früheren Aufnahmen. — Diese sind sämtlich bei 1400 Volt und glühender Nickelkathode erhalten. Dabei beobachtete ich, daß die positive Säule während der Exposition ihre Farbe von Purpurrot in Weißblau änderte. Ich glaubte anfangs dies den auftretenden Nickellinien zuschreiben zu müssen. Das kann jedoch schon deshalb nicht der Fall sein, weil die intensiven Ni-Linien zu weit am Ultraviolett liegen bei 370—350 und also das Auge nicht beeinflussen können. Die gleiche weißblaue Färbung der positiven Säule trat auch ein bei der Verwendung von Oxydkathoden und in diesem Falle waren an der Anode und in der positiven Säule alle Linien des Funkenspektrums zu sehen. Wenn

also mehrere Aufnahmen das Funkenspektrum des Broms in der positiven Säule zeigen, so ist das nur so zu erklären, daß die Kathodenstrahlen infolge höherer Stromstärke und Spannung bis zur Anode selbst vordringen konnten, und eine Vermischung der Spektra dort bewirkten.

Daß in den Aufnahmen mit Oxydkathode in der positiven Säule das Funkenspektrum auftritt, kann nicht verwundern, wenn man bedenkt, daß aus der Glühkathode ein zwar langsamer aber kräftiger Elektronenstrom hervortritt und die Entladungsbahn ganz erfüllt.

Endlich habe ich noch an Platte 1 Tafel III den Intensitätsverlauf der einzelnen Spektrallinien längs der positiven Säule abgeschätzt und graphisch dargestellt. Die nebenstehenden Kurven enthalten das Ergebnis. Kurve I entspricht den Funkenlinien, die also von der Kathode ausgehen und zur Anode hin abnehmen. Kurve II stellt die Verhältnisse bei den Linien der positiven Säule klar. Diese Linien gehen scheinbar von der Anode aus, und sind an der Kathode schwach.



Kurve I. Kurve II.

Ich darf also das Gesamtergebnis aus diesen Untersuchungen folgendermaßen zusammenfassen:

Die Spektra von Kathode und Anode im Bromdampf sind gänzlich verschieden voneinander. Das erstere ist identisch mit dem Funkenspektrum des Broms und erscheint im Bereiche der Kathodenstrahlen. Das letztere ist an beiden Polen vorhanden, jedoch mit außerordentlich großen Intensitätsunterschieden.

## 2. Chlor.

Die für das Bromspektrum abgeleiteten Beziehungen waren mir bereits im Jahre 1911 bekannt, als ich nach vorläufigem Ab-

schluß der Arbeiten das Plattenmaterial untersuchte. Platte 1 auf Tafel I lieferte dann für das Bromspektrum erneut eine Bestätigung. Daher war anzunehmen, daß ähnliche Verhältnisse beim Cl und Jod wieder auftreten würden und ich habe das vorliegende Material im gleichen Sinne zu bearbeiten gesucht. Jedoch tritt dabei eine Schwierigkeit auf: Das Cl-Spektrum ist hinsichtlich des Einflusses der Kapazität zu wenig untersucht. Nur Goldstein hat einige Angaben über den visuellen Teil des Spektrums gemacht. Nach ihm werden im Bereiche 7500—4300 etwa 24 Linien bei Einschaltung von Kapazität geschwächt. Die hellsten unter diesen sind:

753 — 741 — 725 — 614 — 466 — 461 — 453 — 439.

Nur die letzten vier Linien fallen in den von mir untersuchten Spektralbereich. Die Tabelle 2 zeigt für diese Linien genau wie beim Brom negative Differenzen.

Ferner zeigt ein Vergleich mit den Arbeiten von de Gramont und Scharbach, daß alle von diesen Autoren gemessenen Linien positive Differenzen in Spalte 4 haben. Linien wie z. B. 4526,4, 4389,9 und andere mehr, die in weit überragender Intensität an der Anode erscheinen, fehlen bei de Gramont bzw. Scharbach, obschon sie, was ihre Intensität betrifft, hätten sichtbar sein können. Die Übereinstimmung der Verhältnisse hier mit denen beim Brom ist jedenfalls auffallend, wenn auch dies geringe Material nicht ausreicht, um Schlüsse von ähnlicher Tragweite zu gestatten.

Für das Chlorspektrum kann also bis jetzt mit Bestimmtheit nur festgestellt werden, daß an der Kathode das vollständige Chlorspektrum vorhanden ist. An der Anode tritt das gleiche Spektrum, wenn auch schwächer, auf; dazu aber kommen einzelne verstärkte Linien, die sich dann durch die positive Säule bis zur Kathode ausdehnen.

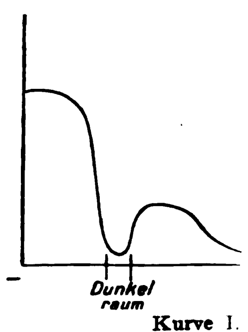
### 3. Jod.

Beim Jod liegen die Verhältnisse noch ungünstiger als beim Chlor. Charakteristisch für dieses Spektrum ist das Fehlen von Linien in der positiven Säule; das kann nicht auf Unterexposition der Platte zurückgeführt werden, da ja an der Kathode alle Linien vertreten sind. Es scheint vielmehr, als ob in Wahrheit die Emission der positiven Säule beim Übergang von Brom zu Chlor und zu Jod allmählich an Linienzahl abnehme, und daß an Stelle der Linien das kontinuierliche Spektrum immer mehr hervortrete.

also **mehrere** Au
**positiven** Säule
**Kathodenstrahlen**
zur **Anode** selbst
**Spektra** dort bew

**Daß** in den
Säule **das** Funke
man bedenkt, da
kräftiger Elektron
erfüllt.

Endlich habe
der einzelnen Spe
und graphisch da
das Ergebnis. Ku
der Kathode ausg
stellt die Verhältn
Diese Linien gehen
Kathode schwach.




Kurve I.

Ich darf also
folgendermaßen zu
Die Spektra
gänzlich verschied
Funkenspektrum d
strahlen. Das let
außerordentlich gr

Die für da
mir bereits im J

[illegible]

Die hellen Serienlinien im Violett treten nicht so sehr hervor, da sie bei der geringen Dispersion mit Linien des elementaren Spektrums fast zusammenfallen.

Die positive Säule enthält außer Verunreinigungen von H, Hg und N nur die zwei stärksten Triplets bzw. Linien des Serienspektrums: 4368,47 und 3947,48. Durch sorgfältige, wiederholte Messungen ist die Identität dieser Linien sichergestellt. Eine andere hier nicht wiedergegebene Aufnahme der positiven Säule zeigt außer diesen beiden Linien noch 5330 und 6458, wiederum zwei starke Linien des Serienspektrums.

Beim Sauerstoff ist also auch eine scharfe Trennung der Spektra von Kathode und Anode nachgewiesen. Das elementare Linienspektrum und das negative Bandenspektrum erscheinen nur im Bereiche der Kathodenstrahlen, das Serienspektrum aber im negativen Glimmlicht und in der positiven Säule.

CO-Banden, die auf zwei Aufnahmen als Verunreinigung vorhanden waren, traten vornehmlich in der positiven Säule auf, an der Kathode waren sie nur angedeutet.

## 5. Wasserstoff.

Es ist bekanntlich außerordentlich schwierig, den Wasserstoff ganz rein darzustellen; dies ist nur bei kontinuierlich strömendem Gase möglich. Meine Aufnahmen enthalten an Verunreinigungen stets Hg und zuweilen CO. Aber gerade das Verhalten dieser Verunreinigungen hat Anlaß zu recht interessanten Beobachtungen gegeben. Tafel II enthält eine besonders charakteristische Reihe von Aufnahmen an Röhre III und darunter eine während der Exposition gemachte Aufnahme der Entladungsbahn.

An der Anode sieht man die von Jungjohann bereits beobachteten Wülste, die in dieser Form nur bisher im Wasserstoff gefunden sind. Die positive Säule ist dem niedrigen Drucke entsprechend weit geschichtet. Ganz auffällig ist das Verhalten der zweiten Schicht von der Kathode an gerechnet; sie ist um 1 mm nach der Kathode hin verschoben. Die Färbung der Schichten ist im allgemeinen rosa. Eine Ausnahme macht die erste Schicht; diese ist rein grün gefärbt und geht allmählich in ein tiefes Blau über. Die nächstfolgende Schicht dagegen ist rosafarben.

Ganz ähnliche Farbenfolgen treten an den Ballons an der [illegible] Jedes dieser kugeligen Gebilde ist mit einer grünen

Bemerkenswert ist auch, daß Goldstein über Kapazitätsentladungen durch Jodsalze kaum Notizen macht, daß ebenfalls Scharbach (loc. cit.) nur wenige Linien in seinen Spektren findet und besonders im Ultraviolett, der eigentlichen Domäne des Funkenspektrums, nur 2 Linien. Auch die Angaben von de Gramont sind recht spärlich.

Jedenfalls ist es unmöglich, aus diesem Material einen allgemeinen Schluß über das Jodspektrum zu ziehen.

### 4. Sauerstoff.

Der Sauerstoff bietet wegen seiner geringen spektroskopischen Empfindlichkeit erhebliche Schwierigkeiten. Sein Spektrum wird leicht durch Spuren von Verunreinigungen, namentlich Co zurückgedrängt. Darum erwies sich auch das zuerst angewandte Verfahren, O aus Kaliumchlorat herzustellen, als wenig geeignet, da CO-Banden nicht fernzuhalten waren. Der Sauerstoff wurde daher durch Elektrolyse von $H_2SO_4$ an Nickelelektroden entwickelt. Um jede Schlauchverbindung unnötig zu machen, schmolz ich einen kleinen Gasometer von 300 ccm Inhalt direkt an den Glasapparat an. Allerdings ging bei der Elektrolyse stets etwas H mit über. Das schadet nicht sehr, da das zweite H-Spektrum durch Überschuß von O verdrängt wird. Der Hahn am Sammelgefäß war fast vollständig geschlossen. Dabei wurde das Röhrensystem kontinuierlich evakuiert, so daß ein gleichmäßiger Strom Sauerstoff das Gefäßsystem durchfloß. Ich benutze nur Röhre III.

Farbe. Die Farbe der Entladung ist an der Kathode weißblau, in der positiven Säule grau. Dabei ist die positive Säule recht lichtschwach. Ich steigerte daher die Expositionszeit gegen die für die Kathode auf das 10—20fache. Die Anode war in der Regel mit einer dünnen grauen Schicht bedeckt. Zweimal nur beobachtete ich an der Anode eine blaugrüne Schicht; visuelle Beobachtung ließ dort die Linien 5330 und 4368 des Serienspektrums des Sauerstoffs erkennen. Andere Linien waren überhaupt nicht sichtbar.

Von den zahlreichen Aufnahmen des Sauerstoffspektrums zeigen alle übereinstimmend an der Kathode das negative Bandenspektrum im Bereiche 640—530 und dazu in großer Intensität das elementare Linienspektrum. Auch das Serienspektrum ist dort deutlich zu sehen, namentlich im Gebiete der längeren Wellenlängen.

Die hellen Serienlinien im Violett treten nicht so sehr hervor, da sie bei der geringen Dispersion mit Linien des elementaren Spektrums fast zusammenfallen.

Die positive Säule enthält außer Verunreinigungen von H, Hg und N nur die zwei stärksten Triplets bzw. Linien des Serienspektrums: 4368,47 und 3947,48. Durch sorgfältige, wiederholte Messungen ist die Identität dieser Linien sichergestellt. Eine andere hier nicht wiedergegebene Aufnahme der positiven Säule zeigt außer diesen beiden Linien noch 5330 und 6458, wiederum zwei starke Linien des Serienspektrums.

Beim Sauerstoff ist also auch eine scharfe Trennung der Spektra von Kathode und Anode nachgewiesen. Das elementare Linienspektrum und das negative Bandenspektrum erscheinen nur im Bereiche der Kathodenstrahlen, das Serienspektrum aber im negativen Glimmlicht und in der positiven Säule.

CO-Banden, die auf zwei Aufnahmen als Verunreinigung vorhanden waren, traten vornehmlich in der positiven Säule auf, an der Kathode waren sie nur angedeutet.

### 5. Wasserstoff.

Es ist bekanntlich außerordentlich schwierig, den Wasserstoff ganz rein darzustellen; dies ist nur bei kontinuierlich strömendem Gase möglich. Meine Aufnahmen enthalten an Verunreinigungen stets Hg und zuweilen CO. Aber gerade das Verhalten dieser Verunreinigungen hat Anlaß zu recht interessanten Beobachtungen gegeben. Tafel II enthält eine besonders charakteristische Reihe von Aufnahmen an Röhre III und darunter eine während der Exposition gemachte Aufnahme der Entladungsbahn.

An der Anode sieht man die von Jungjohann bereits beobachteten Wülste, die in dieser Form nur bisher im Wasserstoff gefunden sind. Die positive Säule ist dem niedrigen Drucke entsprechend weit geschichtet. Ganz auffällig ist das Verhalten der zweiten Schicht von der Kathode an gerechnet; sie ist um 1 mm nach der Kathode hin verschoben. Die Färbung der Schichten ist im allgemeinen rosa. Eine Ausnahme macht die erste Schicht; diese ist rein grün gefärbt und geht allmählich in ein tiefes Blau über. Die nächstfolgende Schicht dagegen ist rosafarben.

Ganz ähnliche Farbenfolgen treten an den Ballons an der Anode auf. Jedes dieser kugeligen Gebilde ist mit einer grünen

Haut umgeben; daran schließt sich eine dünne blaue Schicht und schließlich der rote Kern.

Ich habe diese verschiedenen Schichten bei 0,3 Amp. photographiert. Die Bezifferung der Spektra entspricht der der Schichten in der Säule. Die Aufnahmen sind um so wertvoller, als die Entladung während etwa einer Stunde fast völlig unverändert blieb. Ganz geringe langsame Bewegungen der Schichten habe ich durch entsprechende Verschiebung der projizierenden Linse ausgeglichen. Die Ballons an der Anode wollte ich ebenso im Durchschnitt photographieren. Das gelang aber nicht, da das Gebilde fortwährend, allerdings wenig, zitterte. Jedoch genügte diese Bewegung, um die drei sehr dünnen Schichten miteinander zu verwischen.

Ich habe nun die Helligkeiten der Linien in den einzelnen Spektren abzuschätzen gesucht, die Resultate graphisch aufgetragen und dann die einzelnen Spektra auf die gleiche Expositionszeit reduziert (5 Min.). Dabei habe ich Nr. 5 fortgelassen, da es nur die Wiederholung von Nr. 2 ist und nur zur Kontrolle der Konstanz der Entladung dienen sollte. Die gestrichelten Kurven stellen das Ergebnis der direkten Abschätzungen dar, die ausgezogenen das endgültige Resultat nach Reduktion auf die gleiche Expositionszeit.

**1) Linien des Wasserstoffserienspektrums ($H_\beta$, $H_\gamma$, $H_\delta$).**

Die Serienlinien sind hell an der Kathode, schwach an der Anode, in der positiven Säule mittelstark und nehmen nach der Kathode hin an Helligkeit ab.

**2) Linien des zweiten Wasserstoffspektrums.**

Das zweite Wasserstoffspektrum ist wieder an der Kathode überwiegend hell, verhält sich in der positiven Säule wie das Serienspektrum und ist nur an der Anode etwas heller als jenes.

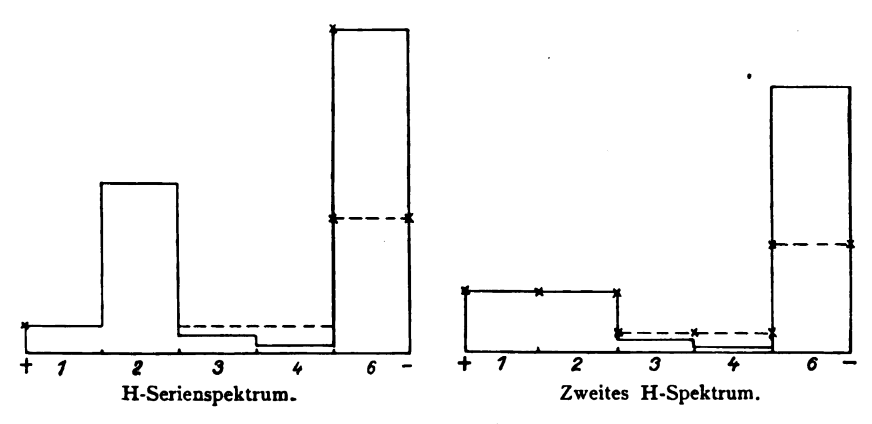
**3) Serienlinien des Quecksilbers (I N. S. u. II N. S.).**

Die auf den Aufnahmen sichtbaren Serienlinien des Hg sind: 4358,6 (II N. S.), 4046,8 (II N. S.), 3663,3, 3654,8, 3650,1 (I N. S.).

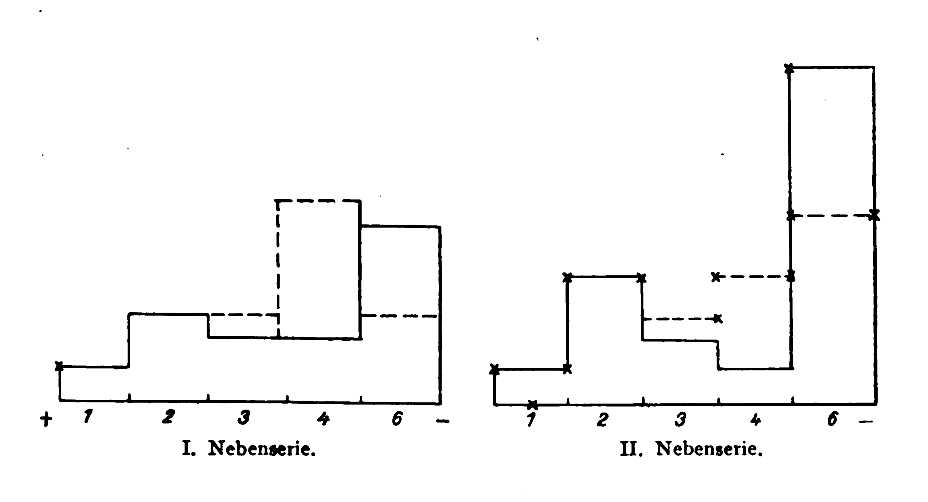
Diese verhalten sich im allgemeinen wie die Wasserstoffserie. Die **Nichtserienlinien** sind aber an der Kathode wohl schwächer. Das tritt deutlich bei 4347 und 4916 hervor.

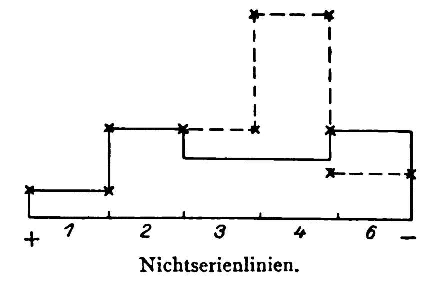
**4) CO-Banden.**

Besonders bemerkenswert ist das Verhalten der CO-Banden, die hauptsächlich in der positiven Säule auftreten und hier wieder




A. Wasserstofflinien.




B. Quecksilberlinien.

besonders stark in der ersten Schicht. Es treten auf die Banden: 4835, 4511, 4393, 4123 und von der dritten positiven Gruppe der CO-Banden nach Deslandres: 3826, 3698, 3613 und 3493. Die Bande 4835 ist in der grünen Schicht besonders intensiv; in den anderen Schichten ist sie kaum zu sehen. Die blauen Banden 4511 und 4123 sind in der grünen Schicht ebenfalls sehr hell, in allen anderen Schichten aber doch auch vorhanden. Das starke Hervortreten der Bande 4835 bewirkt also die grüne Farbe des Kopfes der ersten Schicht. An der Kathode endlich erscheint die Lockyersche Kohlenwasserstoffbande sehr verstärkt gegenüber anderen Stellen der Entladungsbahn.

Fassen wir die Beobachtungen über das Wasserstoffspektrum kurz zusammen: An der Kathode ist das ganze Wasserstoffspektrum sehr hell, an der Anode aber ist das zweite Wasserstoffspektrum dem ersten an Helligkeit überlegen.

Die Serienlinien des Hg-Spektrums einerseits, die Nichtserienlinien andererseits zeigten in den untersuchten Teilen der Entladungsbahn verschiedene Intensitätsverhältnisse.

Die CO-Banden treten vorzugsweise in der positiven Säule auf. Sie können unter gewissen, nicht näher festzustellenden Bedingungen ganz bestimmte Teile der positiven Säule bevorzugen.

## 6. Stickstoff.

Das Verhalten der Stickstoffbanden an verschiedenen Teilen der Entladungsbahn im Geißlerrohr ist bereits öfters zum Gegenstand spezieller Untersuchungen gemacht worden, so daß ich mich auf einige kurze Bemerkungen beschränken kann.

Bei Glimmstrom ist das Kathodenlicht rein blau, das der positiven Säule rötlich; bei Anwendung der Oxydkathode nimmt das negative Glimmlicht eine mehr weißliche Färbung an, die positive Säule verändert sich nicht, die Anode ist mit einer blauen Schicht mit einem Stich ins Rote bedeckt.

Die Aufnahmen lassen deutlich erkennen, daß bei gewöhnlicher Glimmentladung die sogenannten positiven Banden an der Kathode gegenüber den negativen sehr zurücktreten. An der Anode treten die negativen Banden nicht auf, ebenso in der positiven Säule. Der beobachtete Farbenunterschied zwischen der positiven Säule und der Kathode beruht aber nicht auf diesen Differenzen im blauen Teil des Spektrums allein, sondern auch auf

der großen Lichtschwäche der roten und gelben Banden im Kathodenlicht. Um dies näher nachzuprüfen, stellte ich Aufnahmen der beiden in Frage stehenden Teile der Strombahn her unter Anwendung gleicher Expositionszeiten. Die blauen Banden waren ungefähr gleichmäßig in beiden Spektren geschwärzt, von der roten und gelben war aber an der Kathode noch nichts zu sehen, während diese an der positiven Säule gut ausexponiert waren.

Die Oxydkathode ändert die Sachlage jedoch wesentlich. Hier treten an dem negativen Pol die blauen „positiven Banden" weit mehr hervor, auch die roten Banden sind anwesend, ganz entsprechend also der Farbenänderung der Kathode beim Übergang von der Glimmentladung zum Bogen. Die Kathodenstrahlen bewirken also die Emission des gesamten Bandenspektrums (natürlich gilt dies nur für den Bereich 350—650); es ist also streng genommen verfehlt, von einem „positiven Bandenspektrum" zu reden.

Unterschiede in der Energieverteilung innerhalb des Spektrums bestehen auch zwischen den Spektren der Anode und der positiven Säule. Im Ultraviolett bei 380 sind die Banden an P. S. und A. gleich hell; schon bei 406 hat P. S. gegen A. bedeutend an Helligkeit eingebüßt; bei 481 ist der Unterschied bereits ganz bedeutend, aber nun beginnt sich das Verhältnis zu ändern. Im Grünen sind die Spektra ungefähr gleich; schon in der Nähe der grünen Quecksilberlinien steigt die Intensität der positiven Säule im Vergleich zur Anode, bis in den roten und gelben Banden die erstere die Anode weit an Intensität überragt. So erklärt sich also die rötliche Farbe der positiven Säule und die mehr bläuliche der Anodenschicht.

Endlich ist eine Spektralaufnahme des Hochspannungsbogens (1400 Volt) in Luft von 760 mm Druck unter Benutzung der Oxydkathode im Rohr Nr. I erhalten. Beide Pole und die Entladungsbahn sind wie bei früheren Fällen gleichzeitig aufgenommen. Die Entladung erzielte ich, indem ich bei niedrigem Druck beginnend, langsam Luft einströmen ließ, bis der Atmosphärendruck erreicht war. Es bildete sich dabei ein lichtschwacher Bogen mit blauem Kern und grünlicher Hülle. Nur an den Polen tritt das Stickstoffspektrum auf, ohne die negativen Banden. Der Intensitätsabfall innerhalb der Banden selbst wird langsamer, was auch bereits früher von Hagenbach beobachtet worden ist, und von anderen Forschern an den Cyanbanden am Vakuum und Kohlebogen. Zwischen den Polen breitet sich ein Bandenspektrum aus, dessen Linien zum Grün hin konvergieren und dort sich in einem kontinuierlichen

Maximum zu verlieren scheinen. Über den Ursprung dieses Spektrums kann ich nichts angeben. Vielleicht gehört es zu den Stickoxyden, die sich während der Entladung bilden und die Kugel mit braunem Dampf erfüllen.

Die elektrische Entladung durch Luft weist an verschiedenen Stellen der Strombahn neben qualitativen auch noch quantitative Differenzen auf.

## C. Spektra von Metalldämpfen.

### 1. Zink.

Über die Herstellung der Spektra und die Methode zur Verdampfung der Metalle im Vakuum ist oben das Nötige gesagt worden.

Um eine möglichst intensive Entladung zu erhalten, benutzte ich Ströme bis zu 2,5 Amp., obschon bei 0,3 Amp. bereits das Zink verdampft wird. Etwa 2 ccm des Metalles waren in einem weiten Porzellantiegel eingeschmolzen. Nach 5 Minuten war der Inhalt fast völlig verdampft. Auf der Innenwand der Kugelröhre bildete sich ein undurchdringlicher, schwarzer Niederschlag; das Fenster im Ansatzrohr blieb jedoch ganz klar.

Die Entladung zeichnete sich durch eine reine, tiefblaue Färbung aus. Farbenunterschiede an verschiedenen Teilen der Entladungsbahn waren nicht bemerkt worden.

Die Spektralaufnahme enthält die stärksten Linien des Zinkspektrums: 5182,2, 4810,7, 4722,3, 4680,4, 4630,1. Sie alle erfüllen die Strombahn ganz gleichmäßig, ohne bemerkenswerte Verstärkungen oder Abschwächungen.

Außer einigen Ca-Linien an der Kathode sind weitere Zinklinien nicht aufzufinden; sie sind in dem außerordentlich starken Bandenspektrum wohl verschwunden.

Dieses Bandenspektrum erstreckt sich von Pol zu Pol ebenfalls ohne Veränderung der Intensität innerhalb einer Linie. Es beginnt etwa bei 510 und dehnt sich noch über 350 hin aus, wo ihm aber die Glasabsorption ein Ende macht.

Ganz deutlich lassen sich vier Kanten, die wohl zwei zusammengehörige Paare bilden, feststellen.

4326, 4301,5 | 4250, 4228.

4301,5 und 4228 scheinen die Hauptkanten, 4326, 4250 entsprechende Vorläufer zu sein.

Zwei schwächere, isolierte Kanten liegen bei 4594 und 3956. Eine weitere isolierte Kante findet man bei 5022. Von dieser Kante gehen nach Violett eine Anzahl Doublets aus, die durch den Spektrographen glatt gelöst werden. Sie lassen sich bis 489 verfolgen, und nehmen mit zunehmendem Abstand von der Kante aus an Weite rasch zu. Bei 489 wird jedoch das Ende nicht erreicht sein. Die Linien gehen hier in einem wahren Chaos von Linien unter.

Wie schon bemerkt, dehnt sich das Spektrum bis über 350 aus. Es ist aber unmöglich im Ultraviolett irgend welche Kanten außer dem genannten anzugeben.

Die Banden des Zinks sind bereits öfters beobachtet worden. Eine Zusammenstellung findet sich in Kaysers Handbuch. Danach ist 4325 bislang nur von Morse[22]) gesehen, 4228 von Janicki (loc. cit.) und Hartley[23]), 4250 wiederum von Janicki. Doch sind die Wellenlängen so wenig genau gemessen, daß es schwer ist, die Kanten, die von verschiedenen Beobachtern gesehen sind, zu koordinieren.

Morse gibt in seiner Abhandlung noch eine größere Anzahl von Kanten unterhalb von 425 an. Dem gegenüber muß hervorgehoben werden, daß auf meinen Aufnahmen, die bei der geringen Dispersion Kanten deutlich hervortreten lassen müßten, keine Andeutung davon zu sehen ist. Die dort sichtbaren Linien lassen sich teilweise als einfache Ausläufer der vier genannten Kanten feststellen. Morse beobachtete die Zn-Banden im Wehneltunterbrecher. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß bei dieser Art der Erregung der Intensitätsverlauf der Banden ein ganz anderer ist als bei Gleichstrom im Vakuum, und daß dadurch neue Kanten durch zufällige Linienanhäufungen vorgetäuscht werden. So scheinen z. B. auch die roten Stickstoffbanden nach Aufnahmen von Herrn Prof. Konen bei Gleichstromentladung ganz anders gebaut zu sein, als bei Induktorstrom, obschon man in beiden Fällen völlige Übereinstimmung in den Linien findet. Der scheinbare Unterschied wird durch relative Intensitätsänderungen vorgetäuscht.

Daß die von mir angegebene Bandengruppierung in zwei Hauptbanden mit je einem Vorläufer die richtige ist, ergibt sich auch aus Vergleichen zwischen dem Zn-Spektrum und dem des

Cd und Hg. Bei diesen Elementen tritt die Gruppierung sehr scharf hervor.

## 2. Cadmium.

Das Cd-Spektrum erhielt ich bei 0,8 Amp. in ca. 3 Minuten gut ausexponiert. Ebenso wie beim Zn habe ich das Metall in einen Porzellantiegel von ca. 1 cm Durchmesser eingeführt. In unmittelbarer Nähe der Anode war die Entladung reinblau, und ging dann zur Kathode hin in einen grünen Farbton über. Die blaue Färbung der Anode beruht zum größten Teil auf der Verteilung der Cd-Banden, die an der Anode vorherrschen.

Die Linien gehören dem Bogenspektrum an. Die stärksten unter ihnen erfüllen gleichmäßig die ganze Entladungsbahn, die schwächsten reduzieren sich auf beide Pole. Die Ca-Linien der Kathode erstrecken sich mit abnehmender Helligkeit durch die positive Säule bis zur Anode hin.

Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, daß an der Kathode und nur dort allein, Linien des Funkenspektrums zu sehen sind. Die Beobachtung auf den vorliegenden Platten ist mit Schwierigkeiten verbunden, da die Linien zum Teil recht schwach sind, und dann auch an einigen Stellen von dem kontinuierlichen Spektrum des glühenden Platinblechs bedeckt werden. Jedoch gelang es mir, eine große Anzahl von Funkenlinien unter Anwendung des Hartmannschen Dispersionsnetzes sicher zu identifizieren. Die Untersuchung beschränkt sich auf den violetten Teil des Spektrums von 4127,1 bis 3951,3 und wurde in der Weise durchgeführt, daß zunächst die Lage der Linien abgemessen und danach die Wellenlänge berechnet wurde. Zum Vergleich zog ich die Zahlen von Eder und Valenta in Kaysers Handbuch heran.

Das Bandenspektrum ist an beiden Polen gleich stark, in der Mitte der Entladungsbahn aber etwas schwächer. Die ersten Bandenlinien erscheinen bei 500 und verlieren sich bei 380.

Genau wie beim Zink beobachtete ich 4 Banden, die sich in 2 Gruppen einordnen lassen. Jede Gruppe enthält eine Hauptbande mit Vorläufer nach Rot. Die Wellenlängen sind:

4508 4494 | 4310 4295.

Alle anderen Beobachter: Hartley, Ramage, Arons, Kalähne, Fowler[27]) geben nur die Hauptkanten 4494 und 4295 an.

Von beiden Kanten laufen 2 Linienserien aus. Außer diesen Banden enthält das Spektrum noch eine große Anzahl von gesetzmäßig nach Rot hin konvergierenden Linien, deren Endkante jedoch bis auf einen Fall ($\lambda = 4553$) nicht zu erkennen ist.

In neuester Zeit hat Miss Howson[24]) auch die Cd-Banden bei hoher Dispersion untersucht und die Serien festgestellt.

Die angegebenen vier Bandenkanten treten deutlich auf einer der Abhandlung beigegebenen Reproduktion der Aufnahmen hervor. (Tafel II.)

### 3. Quecksilber.

Bei den Versuchen mit Quecksilber trat an Stelle des Porzellantiegels an der Anode ein Fingerhut, dessen Höhe aber auf die Hälfte verkleinert war. Dahinein füllte ich etwa 13 g Quecksilber, das bei einem Strom von etwa 1,4 Amp. in 5 Minuten verdampfte. Während des Stromdurchganges schlug sich das Metall in feinen Tröpfchen auf dem Glase nieder. Damit waren nun die Bedingungen gegeben, die nach den Untersuchungen von Eder und Valenta das Erscheinen des Bandenspektrums des Hg begünstigen. In der Tat findet es sich auf allen 5 Aufnahmen und erstreckt sich mit konstanter Helligkeit durch die ganze Entladungsbahn bis zur Kathode. Beobachtet sind die Kanten mit den sich anschließenden Linien: 3722, 3724; 4011, 4018; 4213, 4218.

Warburg[25]) fand, daß in weiten Röhren in der positiven Säule ein kontinuierliches Spektrum erscheine. Auf meinen Platten ist davon nichts zu sehen.

Die vorhandenen sehr intensiven Linien gehören dem Bogenspektrum des Quecksilbers an und besitzen an allen Stellen der Strombahn gleiche Stärke.

### 4. Wismut.

Wismut und ebenso Antimon habe ich zu meinen Untersuchungen herangezogen, da beide Elemente ein vom Bogenspektrum stark abweichendes Funkenspektrum besitzen und ich also erwarten durfte, hier näheren Aufschluß über das Verhalten der Bogen und Funkenlinien zu erhalten.

Die Erwartungen sind auch vollauf erfüllt worden. Die drei bei 2,3 Amp. erhaltenen Aufnahmen zeigen an der Kathode, und

zwar nur dort allein, die stärksten Funkenlinien, z. B. 3794, 4078, 425, 4302,3, 4079,4, 3793,0, 3696.

Auf zwei der erzielten Aufnahmen erscheinen diese Funkenlinien als scharfe Punkte von recht hoher Intensität. Sie sind auf die unmittelbare Umgebung der Kathode beschränkt. Auf einer dritten Aufnahme sind die Linien länger ausgedehnt. Das wird aber daher rühren, daß die Entladung an der Kathode nicht fest ansetzte, sondern hin und her schwankte; auf dieser Platte sind auch die schwächeren Ca-Linien lang ausgezogen, was sonst nur bei unruhiger Entladung der Fall ist. An der Anode ist von diesen Funkenlinien keine Spur zu entdecken.

Die Bogenlinien beginnen stark an der Anode, nehmen an Helligkeit ab längs der positiven Säule, um schließlich an der Kathode wieder etwas zuzunehmen. Nur die schwächeren Linien erreichen die Kathode nicht.

An der Anode ist außerdem das Bandenspektrum zu sehen, ist aber trotz einer Expositionszeit von 5 Minuten nur recht schwach angedeutet. Es ist durchweg in Linien bzw. Liniengruppen aufgelöst. An einzelnen Stellen scheinen Serien von Triplets aufzutreten; auch drei Kanten mit Abschattierung nach Rot finden sich bei: 4079, 4192 und 4433, zwei schwächere und dann unsicher bestimmte bei 3588 und 4848. Den angegebenen Zahlen möchte ich keine höhere Bewertung zukommen lassen. Der Spektrograph reicht nämlich nicht ganz aus, um die Kanten aus dem Liniengewirr an der Anode genügend hervorzuheben. Hartley, der auch dies Spektrum studiert hat, gibt ganz andere Wellenlängen für die Kanten an (siehe Kaysers Handbuch).

## 5. Antimon.

Für Antimon gilt im allgemeinen das beim Wismut Gesagte. Die Stromstärke hatte ich auf 0,5 Amp. reduziert. Darum verdampfte das Metall anfangs langsam, so daß die ersten Aufnahmen starke Stickstoffbanden enthielten. Nun wirkt aber die Erhöhung des Luftdruckes im Rohr ähnlich wie eine Verstärkung des Stromes, wenigstens bei Bogenentladung. Nachdem also bei geringem Druck die Entladung einmal eingesetzt hatte, ließ ich langsam Luft zuströmen. Sofort gingen die violetten von Stickstoff herrührenden Blasen an der Anode zurück um einer kräftigen, blauen Bogenentladung Platz zu machen.

Die drei gewonnenen Spektralaufnahmen lassen an der Kathode die Funkenlinien 4195,3, 4078, 4134 als scharfe punktförmige Ansätze erkennen.

Die Bogenlinien durchsetzen wiederum die ganze Strombahn. An der Anode sieht man das Bandenspektrum, dessen stärkere Kanten die ganze positive Säule erfüllen und auch an der Kathode selbst noch auftreten. Hiernach zu urteilen ist das Bandenspektrum keineswegs auf die Anode beschränkt, sondern es kann in allen Teilen der Strombahn gesehen werden, falls nur die Intensität genügend groß ist. Die Spektra von Zn, Cd, Hg bestätigen dies.

Auf die Wiedergabe der Wellenlängen der Kanten verzichte ich, da meine Messungen mit denen von Eder und Valenta (siehe Kaysers Handbuch) im wesentlichen übereinstimmen.

## 6. Blei.

Der Bleibogen ist im Vakuum bei ausreichender Stromstärke leicht zu erhalten. Hohe Stromdichte begünstigt nach Janicki das Auftreten von Funkenlinien. Bei meinen Versuchen waren die Dimensionen der Anode und die Stromstärke (2,3 Amp.) die gleichen wie beim Wismut. Die Funkenlinien erscheinen wieder an der Kathode: 4387, 4245, 4182, aber die beiden ersten auch gleichzeitig als scharfe Punkte großer Intensität an der Anode. Ein Grund für dieses Verhalten der genannten zwei Linien ist nicht ohne weiteres ersichtlich. Zwar sind es, nach dem Atlas von Konen und Hagenbach zu urteilen, die stärksten Linien des Bleispektrums, und darum ist es vielleicht richtiger anzunehmen, daß auch im allgemeinen die Funkenlinien an der Anode vorhanden sind, und daß nur ihre geringere Helligkeit sie nicht auf der Platte reproduziert. Die Helligkeit der Linien ist an der Kathode größer als an der Anode.

Die Ausdehnung der Bogenlinien in der Strombahn geht der Intensität der Linien durchaus parallel. Die Bleibanden reichen von der Anode bis zur Kathode hin.

## 7. Silber.

Das Silber erfordert zur Verdampfung im Vakuum eine ziemlich beträchtliche elektrische Energie. Bei einer Stromstärke von etwa 2 Amp. begann die Verdampfung. Der Materialverbrauch

war recht bedeutend, da das Metall in feinen Tröpfchen springbrunnenartig nach allen Richtungen verspritzte. Die starken Bogenlinien erscheinen auf den Platten vornehmlich in der Nähe der Elektroden.

In dem von mir untersuchten Spektralbereich besitzen Bogen- und Funkenspektrum keine nennenswerten Unterschiede, so daß also meine Platten in dieser Hinsicht kein Material bieten.

Die Metallbanden sind nur in nächster Nähe der Anode zu sehen. Die Wellenlängen, die ich mit Hilfe eines Vergleichseisenspektrums bestimmte, sind: 4095, 4123, 4180, 4264, 4296, 4388. Die Banden sind sämtlich nach Rot abschattiert.

(Fortsetzung folgt in Heft 9.)

## Bücherbesprechungen.

**Enzyklopädie der mikroskopischen Technik.** In Verbindung mit vielen Fachgenossen herausgegeben von Paul Ehrlich, Rudolf Krause, Max Mosse, Heinrich Rosin und Karl Weigert †. Zweite Auflage. 2 Bände, 800 u. 680 S. mit 56 u. 111 Abb. Berlin-Wien 1910, Urban & Schwarzenberg. M. 50.—

Das bekannte Nachschlagewerk ist sieben Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage in erheblich vermehrter und vielfach umgearbeiteter Form neu herausgegeben worden. Die erstaunliche Fülle des aufs sorgsamste bearbeiteten Materials macht das ausgezeichnete Werk zu einem zuverlässigen Ratgeber bei allen mikroskopischen Arbeiten. Die Redaktion lag in den Händen von Rudolf Krause.

**Lexikon der anorganischen Verbindungen.** Herausgegeben von M. K. Hoffmann. Mit einer Rechentafel von A. Thiel. Leipzig 1910—1914 (Band I, Liefg. 1—7, Band II, Liefg. 1—16, Band III, Liefg. 1), J. A. Barth. M. 96.—

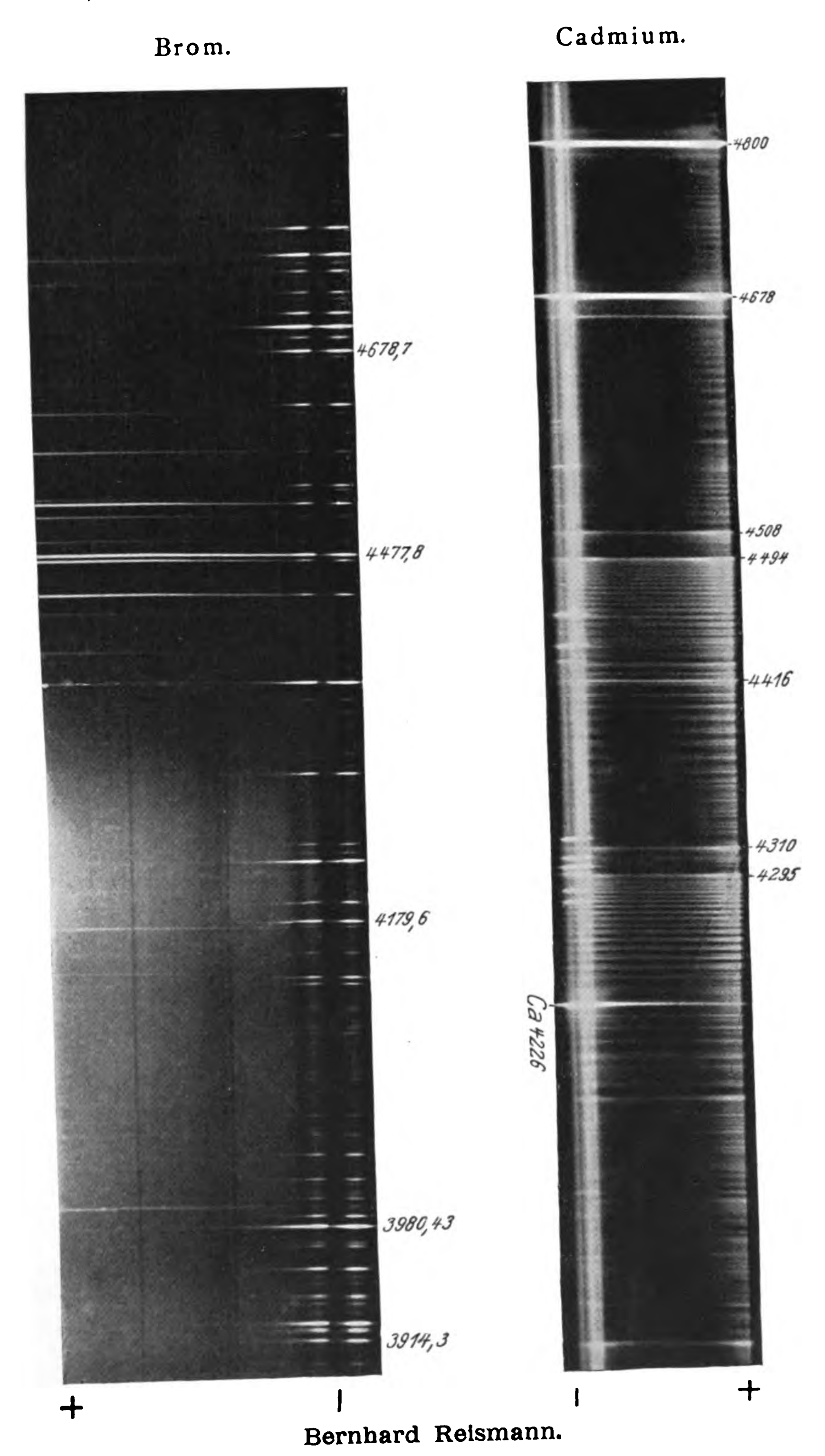
Das vorliegende Werk bildet ein äußerst willkommenes Gegenstück zu den organischen Lexika von Beilstein und von Richter. Die Herausgabe geschah mit Unterstützung des Kgl. Sächsischen Ministeriums des Kultus, der Kgl. Preußischen Akademie der Wissenschaften und der Kgl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften.

**W. Marshall Watts.** Index of Spektra. Appendix V. London 1913, Wesley and Son.

**Abstract-Bulletin of the Physical Laboratory of the National Electric Lamp Association Cleveland.** Herausgegeben von Edward P. Hyde. Bd. I, No. 1.

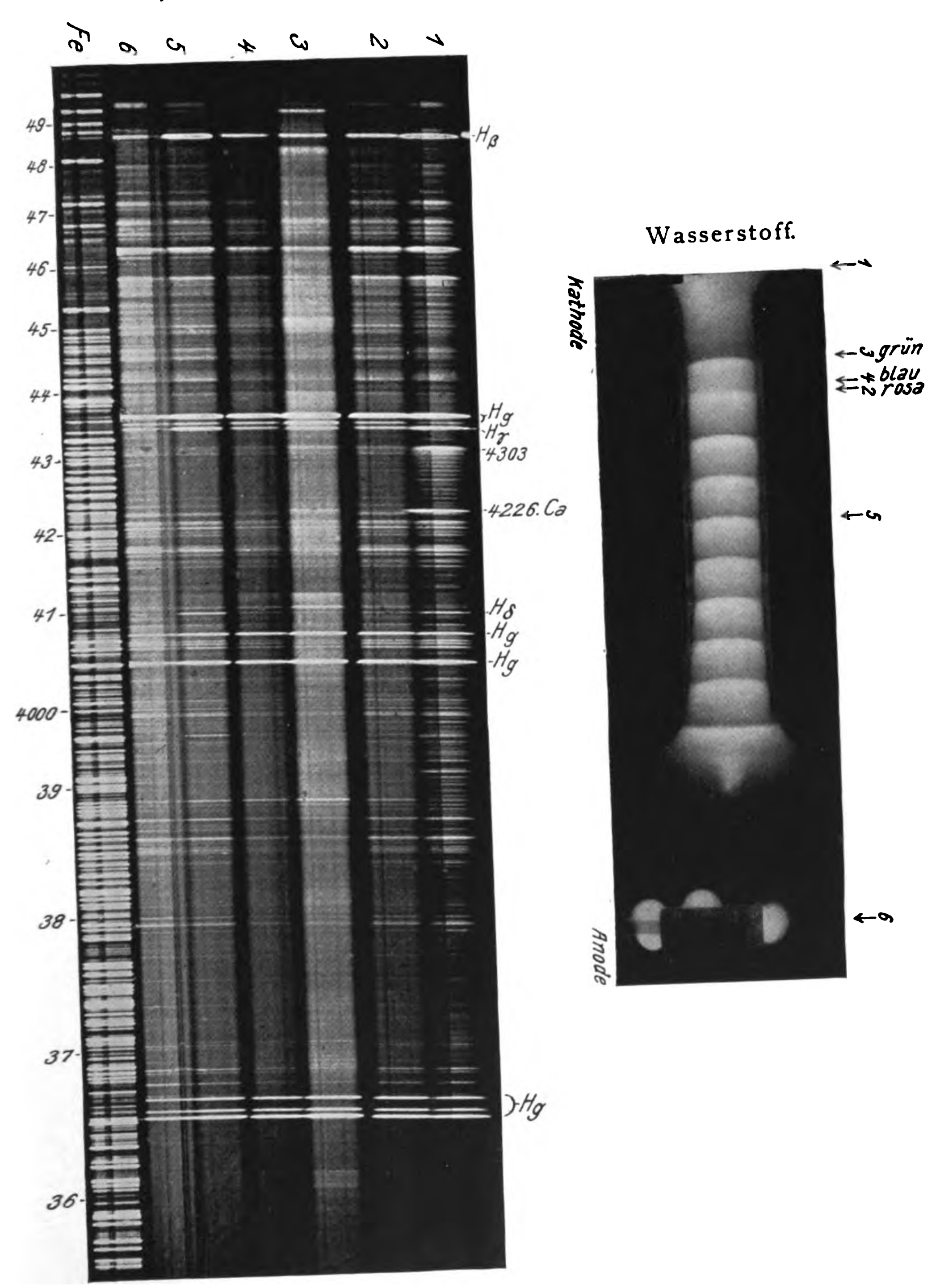
Karl Schaum.

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.



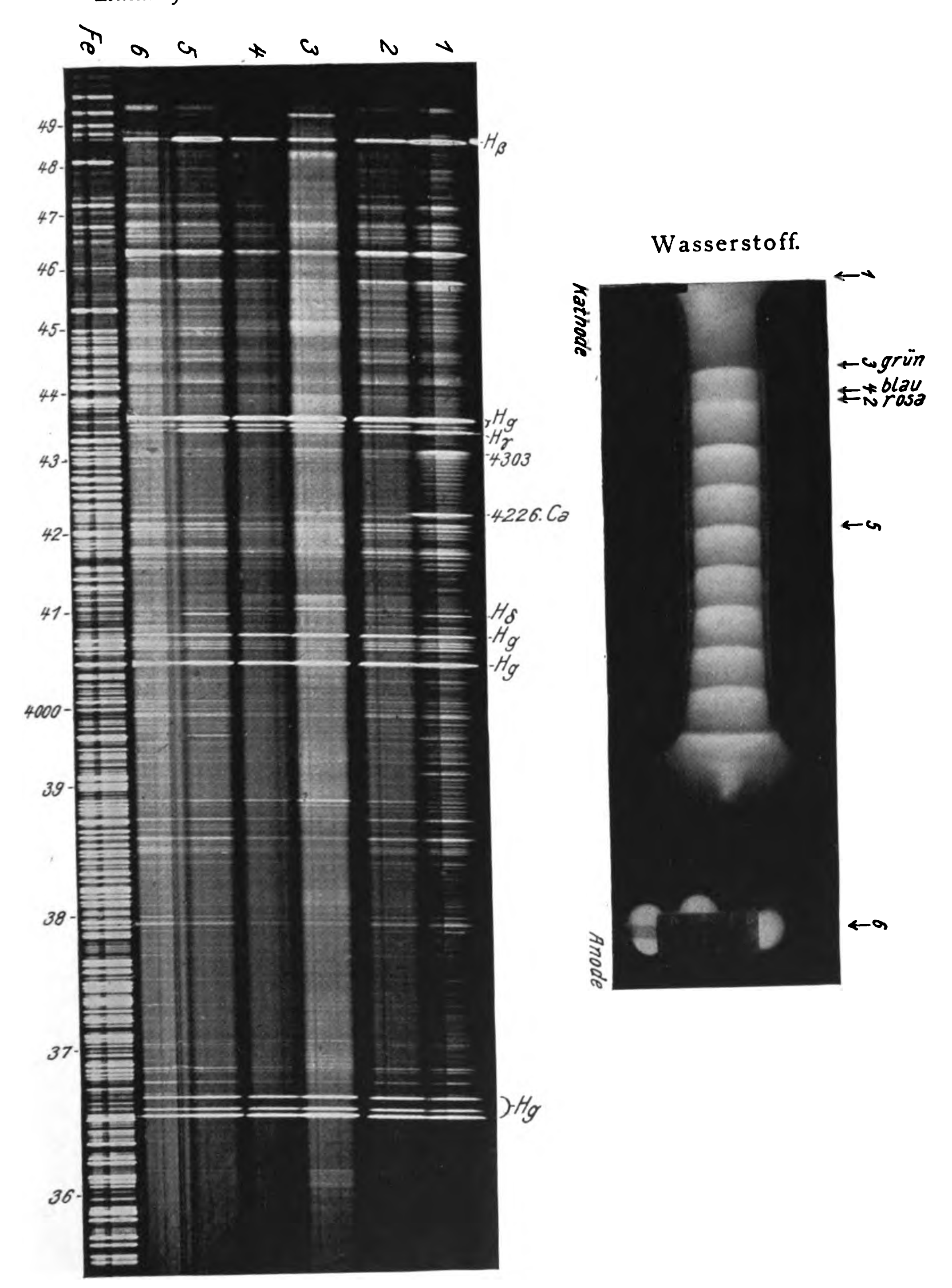

**Bernhard Reismann.**

*Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.*




Bernhard Reismann.

Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.




Bernhard Reismann.

Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.

# Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1914. Heft 9.

## Die Unterschiede der Polspektra verschiedener Elemente im Geißler-Rohr.

Von

Bernhard Reismann.

Mit 12 Figuren im Text und 2 Tafeln.

(Fortsetzung aus Heft 8.)

### IV. Vergleich mit den Ergebnissen anderer Beobachter.

Über Br, Jod, Chlor liegen nur wenige kurze Notizen von Liveing vor, in denen hervorgehoben wird, daß an der Kathode das Linienspektrum dieser Elemente, an der Anode und in der positiven Säule das „Banden“spektrum auftritt. Das gleiche beobachtet Matthies[26]) bei seinen Untersuchungen über die Glimmentladung in den Halogenen. Ob aber das Spektrum, das als ein Bandenspektrum bezeichnet wird, in Wirklichkeit ein solches ist, ist doch recht zweifelhaft. Die spektroskopischen Hilfsmittel werden wohl kaum ausgereicht haben, eine Auflösung des Spektrums in Linien oder Liniengruppen zu zeigen. Wahrscheinlich sind die zahlreichen Maxima und Minima, die namentlich das Jodspektrum in seiner ganzen Ausdehnung durchziehen, als Einzelbanden aufgefaßt worden. Dazu kommt noch ein zweiter die Beobachtung erschwerender Umstand: die „Banden“ liegen weit im Blau und Violett.

Auch meine Aufnahmen lassen keine Spur von Auflösung des kontinuierlichen Grundes in Einzellinien erkennen; und ich kann darum mit Sicherheit nur das feststellen, daß das Spektrum, falls es überhaupt auflösbar sein sollte, eine Liniendichte besitzt, die größer ist als die der Stickstoffbanden in der Nähe ihrer Kanten, denn diese werden glatt aufgelöst. Aber der ganze äußere Bau dieses Spektrums macht es höchst wahrscheinlich, daß man es mit einem durchaus kontinuierlichen Spektrum zu tun hat.

Die von mir angegebenen Einzelheiten über die Beziehung des Kathodenspektrums zum Funkenspektrum bei Brom und Chlor sind durchaus neuartig und bislang unbekannt.





[illegible] loc. cit.) eine ein-
[illegible] sich auch mit der
[illegible] befaßt. Seine Unter-
[illegible] nachzuweisen, daß das
[illegible] vermehrter elektrischer
[illegible]spektrum beim Stickstoff.
[illegible]enspektrums zum nega-
[illegible] abweichender Beobach-
[illegible] Pole sich eine besondere
[illegible]um aussende. Er sieht
[illegible] die Beobachtung, daß
[illegible] Banden am neuen nega-
[illegible] früheren negativen Pole
[illegible] dieser Richtung keine
[illegible] daß vielleicht der In-
[illegible] nicht gänzlich uni-
[illegible] Banden am positiven
[illegible] schwacheren Schließungs-

[illegible]enspektrum (Funken-
[illegible] im Gegensatz zum
[illegible] scharf unterschieden
[illegible] worden.

[illegible] eine aus[illegible]

[illegible]

die bei hoher Spannung eine Vermischung der fraglichen Spektra zeigen.

Die Untersuchungen, die ich am Brom angestellt habe, zeigen, daß trotz geringen Potentiales an der Anode ein für Kathodenstrahlen charakteristisches Spektrum auftreten kann. Ich habe oben schon das Nähere darüber gesagt; ich möchte aber nochmals hervorheben, daß es einmal die anomalen Entladungsverhältnisse gewesen sind — glühende Nickelkathode —, dann aber wohl der von der Oxydkathode ausfließende intensive Elektronenstrom, die aus der Anode das Kathodenspektrum wieder erscheinen ließen (s. auch Blei).

Überhaupt will es mir scheinen, als ob man mit der Annahme einer rein lokalen Verteilung von Spektren in der Entladungsbahn die Lage der Verhältnisse nicht richtig charakterisiere. Die Verteilung von Spektren ist allein durch die Lageverhältnisse der Kräfte, die die verschiedenen Spektra auftreten lassen, bedingt; eine bestimmte Liniengruppe wird immer dort sichtbar werden, wo die sie hervorrufende Ursache wirksam sein kann, unbekümmert um die Stellen der Entladungsbahn. So kann z. B. ein Spektrum, dessen Existenz unmittelbar an das Vorhandensein von Kathodenstrahlen gebunden ist, auch an der Anode erscheinen.

In solcher Weise möchte ich auch das Erscheinen der beiden äußerst starken Funkenlinien an der Anode im Bleibogen erklären. Bei dem relativ hohen Druck, unter dem die Röhre betrieben wurde, war die Wucht der Elektronen soweit gehemmt, daß die Funkenlinien in der Regel nur dicht an der Kathode erscheinen konnten. Nur solche Linien konnten an der Anode überhaupt sichtbar werden, die sich leicht und in voller Stärke erregen lassen.

Meine Ergebnisse über den Metallbogen stimmen überein mit den neuen Untersuchungen von Fabry und Buisson, Oellers, Huppertz über den Bogen in Luft bei normalem Druck, von Gehlhoff im Vakuum.

Die oben beim Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff angegebenen Resultate sind in Übereinstimmung mit den Ergebnissen, die G. S. Fulcher[27]) an freien Kathoden und Kanalstrahlen erzielt hat. Dieser ließ ein mit Gleichstrom erhaltenes Kathodenstrahlbündel durch ein Loch in die Anode treten und trennte Kathoden und Kanalstrahlen magnetisch. Aus den Spektraluntersuchungen folgt: 1. Kathodenstrahlen in N emittieren das negative Bandenspektrum; 2. in Wasserstoff beide Spektra; 3. in Sauerstoff alle drei Spektra.

Über das Sauerstoffspektrum hat Schuster (loc. cit.) eine eingehende Untersuchung veröffentlicht, in der er sich auch mit der Frage der Verteilung der 3 Sauerstoffspektra befaßt. Seine Untersuchungen gehen namentlich darauf hinaus, nachzuweisen, daß das elementare Linienspektrum erst bei Zufuhr von vermehrter elektrischer Energie entsteht, ähnlich wie das Linienspektrum beim Stickstoff. Auch betont er die Zugehörigkeit des Bandenspektrums zum negativen Pole und stellt zur Erklärung einiger abweichender Beobachtungen die Hypothese auf, daß am negativen Pole sich eine besondere Modifikation des O bilde, die dieses Spektrum aussende. Er sieht sich zu diesen Annahmen veranlaßt durch die Beobachtung, daß nach Umkehrung des Induktorstromes die Banden am neuen negativen Pole nicht sogleich auftreten und am früheren negativen Pole nicht sogleich verschwinden. Ich habe in dieser Richtung keine Versuche angestellt, möchte aber bemerken, daß vielleicht der Induktorstrom trotz ausgesprochener Asymmetrie nicht gänzlich unipolar gewesen ist und daß also die negativen Banden am positiven Pol kurz nach der Umschaltung durch den schwächeren Schließungsfunken bewirkt sind.

Die Tatsache, daß das elementare Linienspektrum (Funkenspektrum) sich ganz auf die Kathode beschränkt, im Gegensatz zum Serienspektrum, und die durch meine Aufnahmen scharf unterstrichen wird, ist von Schuster noch nicht beobachtet worden.

In neuerer Zeit hat Schniederjost (loc. cit.) eine ausführliche Beschreibung des Sauerstoffspektrums bei verschiedenen Drucken gegeben. Er sieht bei höherem Druck das elementare Spektrum nur an der Kathode; mit abnehmendem Druck aber auch in der positiven Säule zusammen mit dem Serienspektrum. Ähnliche Angaben über das Spektrum des negativen Glimmlichtes macht auch Hemsalech (siehe Kaysers Handbuch).

Nach meiner Auffassung ist diese Verbreitung des Spektrums des negativen Glimmlichtes mit abnehmendem Druck nicht verwunderlich, da bei kleinem Druck die Kathodenstrahlen eine weit größere Reichweite und Intensität besitzen als bei hohem Druck und demnach auch die innerhalb des Bereiches der positiven Säule liegenden Gasatome zur Emission eines Spektrums anregen können, das bei hohem Druck und geringer Spannung auf die unmittelbare Nachbarschaft des negativen Poles beschränkt ist. Meine Aufnahmen mit geringer Spannung mußten also scharfe Trennung,

die bei hoher Spannung eine Vermischung der fraglichen Spektra zeigen.

Die Untersuchungen, die ich am Brom angestellt habe, zeigen, daß trotz geringen Potentiales an der Anode ein für Kathodenstrahlen charakteristisches Spektrum auftreten kann. Ich habe oben schon das Nähere darüber gesagt; ich möchte aber nochmals hervorheben, daß es einmal die anomalen Entladungsverhältnisse gewesen sind — glühende Nickelkathode —, dann aber wohl der von der Oxydkathode ausfließende intensive Elektronenstrom, die aus der Anode das Kathodenspektrum wieder erscheinen ließen (s. auch Blei).

Überhaupt will es mir scheinen, als ob man mit der Annahme einer rein lokalen Verteilung von Spektren in der Entladungsbahn die Lage der Verhältnisse nicht richtig charakterisiere. Die Verteilung von Spektren ist allein durch die Lageverhältnisse der Kräfte, die die verschiedenen Spektra auftreten lassen, bedingt; eine bestimmte Liniengruppe wird immer dort sichtbar werden, wo die sie hervorrufende Ursache wirksam sein kann, unbekümmert um die Stellen der Entladungsbahn. So kann z. B. ein Spektrum, dessen Existenz unmittelbar an das Vorhandensein von Kathodenstrahlen gebunden ist, auch an der Anode erscheinen.

In solcher Weise möchte ich auch das Erscheinen der beiden äußerst starken Funkenlinien an der Anode im Bleibogen erklären. Bei dem relativ hohen Druck, unter dem die Röhre betrieben wurde, war die Wucht der Elektronen soweit gehemmt, daß die Funkenlinien in der Regel nur dicht an der Kathode erscheinen konnten. Nur solche Linien konnten an der Anode überhaupt sichtbar werden, die sich leicht und in voller Stärke erregen lassen.

Meine Ergebnisse über den Metallbogen stimmen überein mit den neuen Untersuchungen von Fabry und Buisson, Oellers, Huppertz über den Bogen in Luft bei normalem Druck, von Gehlhoff im Vakuum.

Die oben beim Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff angegebenen Resultate sind in Übereinstimmung mit den Ergebnissen, die G. S. Fulcher[27]) an freien Kathoden und Kanalstrahlen erzielt hat. Dieser ließ ein mit Gleichstrom erhaltenes Kathodenstrahlbündel durch ein Loch in die Anode treten und trennte Kathoden und Kanalstrahlen magnetisch. Aus den Spektraluntersuchungen folgt: 1. Kathodenstrahlen in N emittieren das negative Bandenspektrum; 2. in Wasserstoff beide Spektra; 3. in Sauerstoff alle drei Spektra.

Betrachten wir nun noch die Spektra der verschiedenen Elemente, die im Bereich der Kathodenstrahlen emittiert werden. Wie beim Brom, Chlor und Sauerstoff, ferner bei den Metallen Wismut, Antimon, Blei nachgewiesen ist, sind es die Funkenspektra dieser Elemente, die im Kathodenlicht erscheinen. Es besteht also eine enge Beziehung zwischen den Funkenspektren und der Emission der Kathodenstrahlen. Welcher Art dieser innere Zusammenhang ist, ob es das hohe Potentialgefälle des Funkens ist, oder seine hohe Stromdichte, die die Ähnlichkeit bewirken, ist nach dem gegenwärtigen Stande der Erkenntnis nicht zu entscheiden.

## IV. Zusammenfassung.

1. Es ist ein neues Verfahren angegeben, lichtstarke Spektra des negativen Glimmlichtes bei Gleichstrom zu erhalten.

2. Die polaren Unterschiede der Emission von Brom, Chlor, Jod, Sauerstoff, Stickstoff und den Dämpfen der Metalle: Wismut, Antimon, Cadmium, Zink, Quecksilber, Silber, Blei unter Verwendung reinen Gleichstromes sind festgestellt worden.

3. Die Halogene zeigen an der Kathode das Linienspektrum. In der positiven Säule und an der Anode sind nur wenige Linien vorhanden. Dagegen ist in diesen Teilen der Entladungsbahn das kontinuierliche Spektrum besonders stark entwickelt. Für Brom ist der Nachweis geführt, daß das Kathodenlicht das Funkenspektrum des Broms emittiere. Für Chlor ist dies wahrscheinlich; beim Jod ist der Nachweis nicht durchzuführen, z. T. wegen mangelnden Vergleichsmaterials.

4. Die Entladungen durch HCl, $SnCl_4$, $CCl_4$ zeigen polare Unterschiede, die im ganzen genommen mit den Ergebnissen von G. Stead übereinstimmen. Jedoch ist an den Polen keineswegs eine reinliche Scheidung der Spektra festzustellen, sondern ein Spektrum tritt gegenüber dem anderen so sehr zurück, daß das erstere bei visueller Beobachtung zu fehlen scheint. Nur photographische Aufnahmen, wie ich sie erhalten habe, konnten diese sehr schwachen Spektra zeigen.

5. Beim Sauerstoff erscheint an der positiven Säule nur das Serienspektrum, an der Kathode aber Serien- elementares Linien- und Bandenspektrum.

6. Der Wasserstoff weist an Kathode und Anode nur Intensitätsunterschiede im Spektrum auf. An der Kathode überwiegt das Serienspektrum; an der Anode ist die Helligkeit der 2 Wasserstoffspektra nahe die gleiche.

7. Die CO-Banden haben, wenn sie als Verunreinigungen von Sauerstoff und Wasserstoff auftreten, das Bestreben, sich an der positiven Säule zu konzentrieren unter Bevorzugung der der Kathode am nächsten liegenden Schichten.

8. Der Stickstoff besitzt an der Kathode ein besonderes negatives Bandenspektrum. Die Farbenunterschiede der Strombahn in Stickstoff erklären sich durch das Verhalten der roten und gelben Banden.

9. Bei hohen Stromstärken (bis 2,8 Amp.) können Metalle im Vakuum an der Anode leicht verdampft werden. Die Entladung zeigt vor allem ein Bandenspektrum, das von der Anode ausgehend die ganze Strombahn erfüllt. Die Bogenlinien der Elemente sind in allen Teilen des Bogens gleichmäßig sichtbar. Funkenlinien erscheinen an der Kathode.

10. Das Spektrum der Kathodenstrahlen ist mit dem Funkenspektrum identisch bei Br, Cl, O, Cd, Sb, Bi, Pb. Bei den anderen Elementen, N ausgenommen, ist der Unterschied zwischen Funken- und Bogenlinien zu gering, als daß die Funkenlinien besonders lokalisiert werden können.

---

Tabelle 1.

Brom.

| λ | K | A | Δ K–A | Galitzin | Goldstein | Scharbach | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6150,0 (10) | w | m | −1 | — | Go | — | De Gramont |
| 5852,4 (5) | — | ww | −1 | — | Go | — | |
| 31,0 (7) | w | ww | 1 | — | — | — | Gr |
| 5590,2 (8) | w | ww | 1 | — | 5590 | KCl | Gr |
| 07,0 (8) | w | ww | 1 | — | — | — | Gr |
| 5435,3 (5) | w | — | 2 | — | — | — | Gr |
| 23,0 (7) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 5395,7 (7) | — | ww | −1 | — | Go | — | |
| 45,5 (4) | — | ww | −1 | — | Go | — | |
| 32,2 (10) | s | ww | 4 | — | — | K | |
| 04,3 (7) | < m | — | 2 | — | — | — | Gr |
| 5238,5 (8) | ss | w | 4 | — | 4242 | K, Na | Gr |
| 5194,7 (4) | w | — | 2 | | — | — | |

Brom (Fortsetzung).

| λ | K | A | Δ K–A | Galitzin | Goldstein | Scharbach | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5182,6 (7) | ss | w | 4 | — | 5182 | K, Na | |
| 64,5 (5) | m | ww | 2 | — | 5164 | K | Gr |
| 4980,0 (4) | ww | m | −2 | — | Go | — | |
| 30,8 (5) | w | — | 2 | Cv | — | Cs, Na | |
| 28,9 (5) | w | — | 2 | Cv | 4 | Cs, Na | Gr |
| 21,4 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 4866,9 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 49,0 (6) | w | — | 2 | Cv | — | — | |
| 45,2 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 16,9 (8) | ss | — | 4 | Cv | 4 | Co, K, Na | Gr |
| 4785,6 (10) | ss | w | 4 | Cv | 2 | K, Na | Gr |
| 80,5 (6) | < w | m | −2 | Co | Go | Cs | |
| 77,3 (3) | < m | ww | +1 | — | — | — | |
| 75,4 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 67,3 (8) | s | ww | 4 | — | — | K, Na | Gr |
| 52,5 (3) | ww! | w | −1 | Co | Go | — | |
| 42,9 (8) | s | — | 4 | Cv | — | K, Na | Gr |
| 35,7 (5) | > w | — | 2 | Cv | — | — | |
| 28,5 (4) | ww | — | 1 | Cv | — | — | |
| 19,9 (8) | s | — | 4 | — | — | K, Na | Gr |
| 05,0 (10) | ss | < ww | 5 | — | — | K, Na | Gr |
| 4693,5 (8) | m | — | 3 | — | — | K | Gr |
| 80,0 (—) | ww | — | 1 | — | 4680 (2) | — | Fehlt bei Konen und [Eder u. Valenta |
| 78,9 (8) | s | — | 4 | Cv | — | K, Na | |
| 72,7 (6) | > w | — | 2 | — | — | Na | |
| 52,1 (6) | ww | — | 1 | — | — | Cs | |
| 43,7 (4) | ww | w! | −1 | — | — | — | Doppelt! |
| 29,6 (3) | ww | — | 1 | Cv | — | Li | |
| 22,9 (8) | s | — | 4 | Cv | — | K, Na | Gr |
| 14,9 (6) | w | m | −1 | — | Go | Li | |
| 05,9 (2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 01,6 (5) | ww | — | 1 | Cv | — | Li | |
| 4597,1 (6) | < ww | — | 1 | — | — | — | |
| 75,9 (4) | < m | > m | −1 | — | Go | — | |
| 58,4 (4) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 43,1 (8) | m | — | 3 | — | — | K, Na | |
| 38,9 (5) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 30,0 (5) | > w | > w | 0 | — | — | — | |
| 25,8 (8) | s | s | 0 | Cv | Go | — | |
| 13,7 (5) | −m | > m! | −1 | Co | Go | — | |
| 4490,7 (5) | w | m | −1 | Co | Go | — | |
| 77,8 (10) | ss | ss | 0 | Cv | Go | — | |
| 72,8 (8) | > m | s | −1 | Cv | — | — | |
| 41,9 (8) | > m | s | −1 | — | Go | — | |
| 25,3 (5) | ww | w | −1 | Co | — | — | |
| 23,2 (2) | ww | ww | 0 | — | — | — | |
| 07,8 (4) | ww | ww | — | Cv | — | — | |
| 4399,9 (3) | ww | ww | — | — | — | — | |
| 96,6 (5) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 91,5 (3) | ww | w | −1 | Co | — | — | |
| 78,1 (4) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 65,8 (8) | s | w | 3 | Cv | 2 | K, Na | Gr |
| 51,4 (1) | w | — | 1 | — | — | — | |
| 08,1 (—) | ww | w | −1 | — | — | — | Kein Brom |
| 4297,0 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |

Brom (Fortsetzung).

| λ | K | A | Δ K–A | Galitzin | Goldstein | Scharbach | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4291,5 (6) | s | — | 4 | — | — | K, Na | |
| 37,0 (6) | m | — | 2 | Cv | — | K, Na | |
| 30,1 (5) | w | — | 2 | Cv | — | — | |
| 24,0 (8) | s | — | 4 | Cv | + | Na | + von Goldstein ge- [sehen |
| 4193,6 (6) | m | — | 3 | — | — | K | |
| 79,8 (8) | s | ww | 3 | — | — | K, Na | |
| 75,9 (5) | w | m | −1 | — | — | — | |
| 57,2 (3) | w | ww | 1 | — | — | — | |
| 44,1 (2) | — | w | −1 | Co | — | — | |
| 40,4 (6) | > m | — | 3 | verbr | — | K | |
| 35,8 (5) | > m | — | 4 | verbr | — | — | |
| 4046,7 (2) | > m | ww | 1 | Co | — | — | |
| 36,5 (4) | > w | ww | 1 | — | — | — | |
| 24,1 (5) | m | ww | 2 | — | — | — | |
| 08,5 (5) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 05,7 (2) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 3999,8 (4) | w | — | 2 | Co | — | — | |
| 97,3 (4) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 92,5 (4) | ww | > m | −3 | Co | — | — | |
| 86,7 (8) | m | — | 3 | — | — | K | |
| 80,6 (10) | ss | — | 5 | — | — | — | |
| 70,7 (4) | < m | — | 2 | — | — | — | |
| 68,8 (5) | < m | — | 2 | — | — | — | |
| 55,5 (8) | s | — | 3 | — | — | Li, K | |
| 50,7 (7) | ww | — | 1 | — | — | K | |
| 47,1 (2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 39,9 (5) | ww | — | 1 | — | — | K | |
| 35,3 (6) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 29,7 (6) | ww | — | 1 | — | — | K | |
| 24,2 (8) | ss | — | 5 | Cv | — | Na, K | |
| 20,8 (6) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 19,8 (6) | m | — | 3 | — | — | Li | |
| 14,4 (9) | s | — | 4 | — | — | K | |
| 09,5 (2) | w | ww | 1 | — | — | — | |
| 01,4 (4) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 3897,9 (2) | — | ww | −1 | — | — | K | |
| 91,8 (8) | < ww | — | — | — | — | K | |
| 88,7 (4) | — | ww | −1 | — | — | — | |
| 71,4 (6) | ww | — | 1 | — | — | K | |
| 40,8 (3) | w | — | 1 | — | — | — | |
| 34,9 (6) | < m | — | 2 | — | — | — | |
| 28,6 (3) | — | ww | −1 | Co | — | — | |
| 15,8 (4) | ww | < m | −2 | Co | — | — | |
| 11,6 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 01,4 (1) | — | ww | −1 | — | — | — | |
| 3794,2 (4) | ww | m | −2 | Co | — | — | |

## Tabelle 2.

## Chlor.

| λ | K | A | Δ K–A | Gramont | Goldstein | Scharbach | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4924,9 (1) | ww | — | 1 | Gr | — | KCl | |
| 17,9 (2) | ww | — | 1 | ,, | — | KCl | |
| 04,9 (4) | w | — | 2 | ,, | — | NaCl | |
| 4896,9 (5) | w | — | 2 | ,, | — | NaCl, KCl $AgCl_2$ | |
| 61,0 — | m | < m | 1 | ,, | — | — | Hγ |
| 19,6 (9) | < m | < m | 0 | ,, | — | Na, K | |
| 10,2 (9) | m | m | 0 | ,, | — | Na, K | |
| 4794,7 (10) | m | m | 0 | ,, | — | Na, K | Als punktförmige |
| 81,5 (5) | m | m | 0 | ,, | — | Na, K, Ag | Ansätze an der |
| 79,1 (3) | — | — | — | — | — | — | Anode gesehen |
| 71,2 (2) | ww | ww | 0 | — | — | — | |
| 68,8 (4) | < w | > w | 0 | Gr | — | Na, K | |
| 55,9 (1) | — | — | — | — | — | — | |
| 40,5 (3) | s | w | 2 | Gr | — | Na, K | |
| 23,0 — | w | w | — | — | — | — | |
| 4661,4 (1) | ww | m | −2 | — | Go | — | |
| 54,3 (1) | — | ww | −1 | — | — | — | |
| 24,2 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 01,2 (4) | w | > m! | −1 | — | Go | — | |
| 4585,1 (1) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 72,9 (5) | w | — | 2 | Gr | — | — | |
| 70,1 (3) | — | — | — | — | — | — | |
| 37,0 (1/2) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 26,4 (5) | m | ss | −2 | — | Go | — | |
| 19,4 (1/2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 04,5 (1/2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 4497,5 (1/2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 91,3 (3) | m | < m | 1 | — | — | — | |
| 90,2 (3) | | — | 3 | — | — | — | |
| 78,8 — | w | — | 2 | — | — | — | |
| 75,5 (4) | — | < m | −2 | — | — | — | |
| 69,5 (5) | — | — | — | — | — | — | |
| 46,6 (2) | — | — | — | — | — | — | |
| 38,7 (4) | ww | m | −2 | — | — | — | |
| 17,0 (1/2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 03,2 (5) | w | > m | −1 | — | — | — | |
| 4399,8 (1) | w | — | 1 | — | — | — | |
| 89,9 (8) | m | s | −1 | — | — | — | |
| 80,1 (8) | w | m | −1 | — | — | — | |
| 73,1 (6) | m | —! | 3 | — | — | — | |
| 4369,7 (6) | w | m | −1 | — | — | — | |
| 63,5 (8) | w | m | −1 | — | — | — | |
| 43,8 (10) | s | m | 1 | — | — | Na, K, Ag | An Anode als Punkt! |
| 41,8 — | s | m | 1 | — | — | — | Hδ [(m) Säule w! |
| 36,4 (5) | m | — | 3 | — | — | Na, K | |
| 23,5 (6) | w | m | −1 | — | — | — | |
| 09,2 (3) | ww | — | 1 | — | — | Na, K | |
| 07,6 (6) | s | m | 1 | — | — | Ag | An Anode |
| 04,2 (4) | < m | — | 3 | — | — | Na, K | als Punkt (m) |
| 4291,9 (5) | m | — | 3 | — | — | Na, K | Säule (o) |
| 76,6 (4) | < m | — | 3 | — | — | — | |
| 70,7 (3) | < m | — | 3 | — | — | — | |
| 67,5 — | w | — | 1 | — | — | — | |

**Chlor (Fortsetzung).**

| λ | K | A | Δ K–A | Gramont | Goldstein | Scharbach | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4261,4 (3) | < m | — | 3 | — | — | — | |
| 59,6 (4) | < m | — | 3 | — | — | — | |
| 53,5 (9) | m | — | 3 | — | — | Ag | |
| 41,4 (8) | < m | — | 3 | — | — | Ag | |
| 35,6 (3) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 34,1 (5) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 26,6 (7) | ww | m | −2 | — | — | — | |
| 09,9 (5) | — | < m | −2 | — | — | — | |
| 4194,0 — | w | — | 1 | — | — | — | |
| 58,0 (4) | < m | — | 3 | — | — | — | |
| 47,2 (4) | < m | — | 3 | — | — | — | |
| 32,7 (8) | ss | s | 1 | — | — | Na, K | |
| 31,0 (4) | — | w | −2 | — | — | — | |
| 24,2 (1) | w | s | −2 | — | — | — | |
| 4054,2 (2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 40,7 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 3982,0 (3) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 61,8 (2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 55,6 (3) | ww | — | 1 | — | — | K | |
| 16,8 (4) | < m | — | 2 | — | — | — | |
| 14,1 (5) | m | ww | 1 | — | — | — | |
| 3868,8 (6) | m | w | 1 | — | — | — | |
| 63,7 (2) | m | w | 1 | — | — | — | |
| 61,0 (10) | s | m | 1 | — | — | Na, K | |
| 54,0 (4) | < m | w | 1 | — | — | — | |
| 51,5 (8) | m | w | 1 | — | — | Na, K | |
| 45,8 (10) | m | w | 1 | — | — | Na, K | |
| 41,0 — | s | m | 1 | — | — | — | |
| 33,5 (8) | s | m | 1 | — | — | Na, K | Punktförmiger Ansatz an Anode |
| 27,9 (5) | s | m | 1 | — | — | — | |
| 20,4 (5) | m | w | 1 | — | — | K | |
| 18,6 (3) | w | ww | 1 | — | — | — | |
| 09,7 (4) | < m | w | 1 | — | — | — | |
| 05,4 (6) | m | w | 1 | — | — | — | |
| 3799,0 (5) | m | w | 1 | — | — | — | |
| 92,0 — | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 80,4 (5) | m | w | 1 | — | — | — | |

## Tabelle 3.

## Jod.

| λ | K | A | Δ K–A | Gramont | Goldstein | Scharbach | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5787,3 (2) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 60,9 (2) | w | ww | 1 | — | — | — | |
| 39,6 (6) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 10,7 (8) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 5691,0 (6) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 78,3 (6) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 25,9 (10) | s | — | 4 | — | — | — | |
| 12,2 (5) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 5598,7 (5) | m | — | 3 | — | — | — | |

Jod (Fortsetzung).

| $\lambda$ | K | A | $\Delta$ K–A | Gramont | Goldstein | Scharbach | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5504,8 (6) | <m | — | 3 | — | — | — | |
| 5497,0 (10) | s | — | 4 | — | — | Li | |
| 93,6 (5) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 64,6 (10) | ss | — | 5 | — | — | Li | |
| 35,9 (8) | >m | — | 4 | — | — | Li | |
| 07,3 (6) | >m | — | 4 | — | — | Li | |
| 5369,9 (8) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 45,3 (8) | s | — | 4 | — | — | Li | |
| 38,3 (8) | s | — | 4 | — | — | Li | |
| 5245,8 (5) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 5161,0 (10) | s | — | 4 | — | — | Li | |
| 18,0 — | w | <m | – 1 | — | — | — | Goldstein gibt hier |
| 4861,4 (—) | >m | ss | — | — | — | — | $H_\gamma$ [512! |
| 50,7 (10) | ww | — | 1 | Gr | — | — | |
| 33,0 — | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 06,9 (10) | ww | — | 1 | Gr | — | — | |
| 4765,8 (1) | s | >m | 1 | Gr | — | — | |
| 08,4 (10) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 4675,8 (8) | ss | — | 5 | — | — | — | |
| 66,8 (10) | ss | — | 5 | Gr | — | — | |
| 57,6 (1) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 41,1 (6) | s | — | 4 | Gr | — | — | |
| 32,6 (8) | s | — | 4 | Gr | — | — | |
| 22,1 (6) | s | — | 4 | Gr | — | — | |
| 11,5 (4) | <w | — | 1 | — | — | — | |
| 00,6 (6) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 4591,2 (5) | <w | — | 1 | — | — | — | |
| 76,8 (6) | <w | — | 1 | — | — | — | |
| 60,1 (1) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 58,2 (6) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 28,3 (8) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 12,8 (8) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 4481,0 (1) | <m | w | 1 | — | — | — | |
| 56,9 (5) | <m | ww | 1 | — | — | — | |
| 53,2 (10) | m | w | 1 | — | — | — | |
| 47,0 (8) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 45,0 (8) | <m | — | 2 | — | — | — | |
| 42,8 (6) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 34,4 (10) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 24,0 (8) | s | — | 4 | — | — | — | |
| 13,0 (6) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 12,6 (5) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 10,3 (10) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 4399,2 (8) | s | — | 4 | — | — | — | |
| 76,3 (6) | s | — | 4 | — | — | — | |
| 42,3 (8) | — | ww | – 1 | — | — | — | |
| 22,9 (5) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 4292,5 (6) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 78,0 — | s | — | 4 | — | — | — | |
| 35,7 (6) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 21,2 (10) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 4170,6 (5) | >w | — | 2 | — | — | — | |
| 28,9 (10) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 4070,9 (6) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 56,2 (2) | w | w | 0 | — | - | — | |

Jod (Fortsetzung).

| λ | K | A | Δ K–A | Gramont | Goldstein | Scharbach | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3965,9 (5) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 42,5 (1) | w | m | -1 | — | — | — | |
| 40,2 (10) | s | — | 4 | — | — | NaJ | |
| 38,3 (5) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 31,3 (10) | s | — | 4 | — | — | NaJ | |
| 3893,2 (1) | — | w | -2 | — | — | — | |
| 42,2 (2) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 33,8 (2) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 21,6 (8) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 08,4 (10) | m | — | 3 | — | — | — | |
| 3781,8 (2) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 79,2 (5) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 42,0 (8) | s | — | 4 | — | — | — | |
| 34,5 (2) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 25,0 (8) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 16,5 (1) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 11,7 (6) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 3696,6 (1) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 95,9 (1) | ww | — | 1 | — | — | — | |
| 62,0 (6) | w | — | 2 | — | — | — | |
| 57,3 (2) | ww | — | 1 | — | — | — | |

Vorstehende Arbeit wurde in der von Herrn Prof. Dr. Konen-Münster geleiteten Abteilung des Physikalischen Institutes der Universität Münster ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. Konen für sein allezeit bereitwilliges Entgegenkommen und die vielseitige Unterstützung in schwierigen Fragen meinen tiefgefühlten Dank auszusprechen.

## Verzeichnis der benutzten Literatur.


1) A. Schuster, Spectrum of oxygen. Proc. Roy. Soc. **27.** 383—388. 1878.

2) A. Wüllner, Über die Spektra einiger Gase in Geißlerschen Röhren. Pogg. Ann. **147.** 321—353. 1872.

3) J. Schniederjost, Beiträge zur Kenntnis der Spektra von H, He, N, O im Ultraviolett. Diss. Halle 1904.

4) J. D. Liveing, On differences between the spectra of anode and kathode in certain gases. Proc. Cambr. Phil. Soc. **12.**

5) A. Kalähne, Über die Spektra einiger Elemente bei der stetigen Glimmentladung. Ann. **65.** 815—848. 1898.

6) P. Lewis, Astrophys. Journ. **16.** 31—35. 1902.

7) K. Schwarzschild, Publ. der v. Kuffnerschen Sternwarte in Wien-Ottakring u. Aktinometrie der Sterne etc. Abh. d. Gött. Akad. d. Wiss. 1910.

8) G. Gehlhoff, Über die Emission der Serien- und Grundspektra bei der Glimmentladung der Alkalidämpfe. Verh. d. deutsch. Phys. Ges. 1910.

9) 10) G. Gehlhoff und K. Rottgardt, Elektr. und optische Messungen bei der Glimmentladung in Na u. K. Verh. d. deutsch. Phys. Ges. **12.** 472 bis 505. 1910.

11) G. Stead, Anode- and Kathode-spectra of various gases and vapours. Proc. Royal. Soc. **85.** 393—401. 1911.

12) F. L. Wadsworth, Astrophys. Journ. **1.** 232—247. 1895.

13) J. Hartmann, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1902.

14) P. Joye, Reglage d'un spectrographe. Journ. de Physique.

15) L. Janicki, Feinere Zerlegung der Spektrallinien. Diss. Halle 1905.

16) Ch. Olmsted, Die Bandenspektra nahe verwandter Verbindungen. Diss. Bonn. 1906.

17) E. Goldstein, Über zweifache Linienspektra chemischer Elemente. Verh. d. deutsch. Phys. Ges. **9.** 321—332. 1907.

18) B. Galitzin u. S. Wilip, Mém. acad. Pétersb. (8) **19.** Nr. 9, 7 pp. 1906.

19) A. de Gramont, Spectres de dissociation des sels fondus. Ann. chim. et phys. **10.** 1897.

20) J. Scharbach, Über die Goldsteinsche Methode zur Darstellung der Grundspektra. Diss. Münster 1910.

21) 22) J. Morse, Spectra from the Wehnelt interrupter. Astrophys. Journ. **19.** 162—187. 1904.

23) W. N. Hartley, An investigation of the connexion between band and line spectra of some metallic elements. Trans. Roy. Soc. Dublin. (2) **9.** 85—138. 1908.

24) E. Howson, On the band spectra of Aluminium, Cadmium and Zinc. Astrophys. Journ. **36.** 1912.

25) E. Warburg, Über eine Methode, Natrium in eine Geißlersche Röhre einzuführen. Wied. Ann. **40.** 1890.

26) W. Matthies, Glimmentladung in den Halogenen Chlor, Brom, Jod. Ann. (4) **18.** 473—494. 1905.

27) G. S. Fulcher, Production of light by Kathode rays. Astrophys. Journ. **34.** 1911.


## Erläuterungen zu den Tafeln.

### Tafel III.

1. **Brom.** Glimmentladung. 800 Volt. Das Bild der Strombahn ist auf den Spalt projiziert. Expositionszeit 6 Stunden.
2. **Cadmium.** Bogenentladung mit Oxydkathode bei 760 Volt und 0,8 Amp. Druck: Einige cm Hg. Expositionszeit 3 Minuten.

### Tafel IV.

**Wasserstoffspektra.** Bogenentladung mit Oxydkathode bei 1400 Volt und 0,25 Amp. Die Expositionszeiten sind:

1) = $2^m$; 2) = $3^m$; 3) = $18^m$; 4) = $7^m$; 5) = $5^m$; 6) = $5^m$.



## Das Bogen- und Funkenspektrum von Zinn in i. A.

(Von $\lambda$ 7800 bis $\lambda$ 2069).

Von Rudolf Arnolds.

(Auszug aus der gleichlautenden Dissertation Bonn 1913.)

Bis in die allerneueste Zeit wurden bei den spektroskopischen Messungen der einzelnen Elemente und der chemischen Verbindungen die Rowlandschen Messungen des Eisenbogenspektrums als Vergleichsspektrum benutzt, die auf dem Rowlandschen Wert der D-Linie, $\lambda = 5896{,}156$ A.-E., beruhen. Michelson bestimmte vermittels des nach ihm benannten Interferometers die absolute Wellenlänge der besonders homogenen roten Cadmiumlinie und fand bei 15° Celsius und 760 mm Druck

$$\lambda = 6438{,}4722 \text{ A.-E.}$$

Bei der Bestimmung dieses Wertes wurde aber der Feuchtigkeitsgehalt der Luft außer acht gelassen und die Temperatur mit einem Quecksilberthermometer gemessen. Deshalb nahmen Perot, Benoît und Fabry die entsprechende Korrektur vor und erhielten

$$\lambda = 6438{,}4700 \text{ A.-E.}$$

Die von denselben Forschern nach einer anderen Methode erfolgten eigenen Messungen ergaben dann

$$\lambda = 6438{,}4698 \text{ A.-E.}$$

Dieser Wert hat allgemein Anerkennung gefunden und sind auf denselben die neueren relativen Messungen bezogen. Diese haben nun leider gezeigt, daß die Rowlandsche Bestimmung der D-Linie ungenau ist, und daß auch die Eisenlinien von ihren wahren Werten ungleichmäßig abweichen. Gerade dieser letzte Umstand macht aber sämtliche auf die Rowlandschen Messungen des Eisenspektrums bezogenen Arbeiten sozusagen wertlos, trotz der darauf verwendeten Sorgfalt; denn die einzelnen Forscher haben sich verschiedene Eisenlinien als Normalen willkürlich gewählt und haben leider keine Angaben über die getroffene Wahl gemacht. Dadurch haben alle diese Messungen nur mehr literaturhistorischen Wert.

Um diese Mißstände zu beseitigen, hat der Kongreß der International Union for cooperation in solar research bei seiner Tagung in Pasadena (Kalifornien) im Jahre 1910 beschlossen, ein neues, einheitliches System von Eisennormalen, bezogen auf die rote Cd-Linie, für alle ferneren Messungen festzulegen. Dies ist bereits erledigt für das Gebiet von 6845 bis 4242, indem man aus den von Fabry und Buisson, Eversheim und Pfund durch Interferenzmethoden erhaltenen Werten das Mittel genommen hat. Für das Gebiet von 2373 bis 4233 dienen vorläufig bestimmte von Fabry und Buisson

gemessene Linien als Normalen. Dieses neue, in Angströmeinheiten gemessene System von internationalen Normalen [= I.-A.] ermöglicht es, die gewünschte Genauigkeit — in den meisten Fällen die dritte Dezimalstelle — zu erzielen und die so wertvollen Vergleichungen zwischen den Messungen der einzelnen Beobachter vorzunehmen.

Die vorliegende Arbeit, der ich mich auf gütige Anregung von Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Kayser unterzogen habe, ist im Physikalischen Institut der Universität Bonn angefertigt worden und hat den Zweck, eine vollständigere und vor allem genauere, auf den internationalen Normalen beruhende Messung des Linienspektrums des Zinn im Bogen und Funken herbeizuführen.

Da die gesamte bis Anfang 1912 erschienene Literatur über das Bogen- und Funkenspektrum von Zinn in H. Kaysers Handbuch der Spektroskopie Band VI eingehend genug behandelt ist, will ich die wichtigeren Arbeiten am Schlusse dieser Abhandlung namentlich angeben und nur auf die seit 1912 erschienenen hier etwas näher eingehen; auf die Dissertation von T. van Lohuizen werde ich noch in dem Abschnitte über die Gesetzmäßigkeit im Zinnspektrum zurückkommen.

Pollock[28]) unterzieht das Zinnchloridspektrum der Vakuumröhre in dem Atlas von Hagenbach und Konen einer genauen Prüfung und vergleicht es mit dem Vakuumröhrenspektrum von Chlor und dem Funkenspektrum von Zinn und findet, daß die Linien des Zinnchloridspektrums dem einen oder dem anderen Spektrum angehören, daß also keine eigentlichen Zinnchloridlinien vorhanden sind. Das metallische Zinn gibt nicht leicht ein Spektrum, zeigt aber jede verdampfende Verunreinigung, z. B. Blei. Zinnchlorid dagegen gibt mit großer Leichtigkeit ein Spektrum und zeigt die Hauptlinien (= continuous lines) des Zinnfunkens sehr deutlich. Bei Benutzung eines Kondensators kommen auch die Chlorlinien heraus, wie auch manche der Pollinien (= discontinuous lines).

Oellers[29]) untersucht die Beschaffenheit und Verteilung der Emission im Bogenspektrum. Da Zinn einen niedrigen Schmelzpunkt hat, so machen die Aufnahmen dem Verfasser bedeutende Schwierigkeiten; er weist auf die Erscheinung hin, daß die Intensität beim Bogen im Ultraviolett verhältnismäßig gering ist. Da noch dazu sein Bogen ungleichmäßig brennt, so kann er den Bemerkungen über die Verteilung der Intensität an den beiden Polen nur geringes Gewicht beilegen.

Hertenstein[30]) beobachtet das Spektrum der Lichtbogenaureole und versteht darunter „das Flammengebilde, in welches sich der

bei höheren Stromstärken (über 3 Amp.) zwischen vertikalen Elektroden brennende Bogen nach oben hin fortsetzt und das sich vielfach schon der Färbung nach vom inneren Teil des Bogens unterscheidet". Er benutzt einen Spektrographen und einen Strom von 440 Volt und 3,7 Amp. und vergleicht die Spektra der Aureole, des Bogens und der Flamme. Bei 20 Sekunden Expositionszeit erhält er die Linien 3801, 4524 und 5631 und eine größere Anzahl Banden, die von großer Intensität und nach Rot abschattiert sind. Der innere Bogen zeigt dieselben Banden mit viel geringerer Intensität. Kohlensäure und vermehrte Zufuhr von Sauerstoff haben eine Abschwächung der Banden zur Folge.

## Eigene Untersuchungen.

Als Untersuchungsmaterial dienten mir Zinnstäbe (met. purissimum) von ungefähr 5 mm Durchmesser. Den Versuch, die Zinnstäbe bei der Erzeugung des Bogens unmittelbar als Elektroden zu verwenden, mußte ich leider aufgeben, da die Stäbe bei der erforderlichen Stromstärke sofort abschmolzen. Deshalb ging ich dazu über, bei den Bogenaufnahmen Stäbe von homogener Kohle als Elektroden zu gebrauchen, von einem Durchmesser von ca. 10 mm als obere negative Elektrode und ca. 14 mm als untere positive; letztere wurde so weit und tief wie möglich ausgebohrt und dann nach einem sehr einfachen Verfahren mit Zinn gefüllt: man spannt die in Frage kommenden Kohlenstäbe in die Bogenlampe ein, bringt letztere zur Entzündung und hält einen Zinnstab mit einem Ende über die Bohrung; sofort tröpfelt das flüssig werdende Zinn hinein und füllt sie an. Der Städtische Strom von 220 Volt Spannung und ungefähr 6—7 Amp. Stromstärke diente als Stromquelle.

Bei den Funkenaufnahmen hingegen konnte ich meine Zinnstäbe als Elektroden benutzen, die, sehr gut durch Glastuben isoliert, in den Handregulator befestigt wurden. Den Strom lieferte mir eine Wechselstrommaschine von 160 Volt Spannung und 10—12 Amp. Intensität; ich transformierte ihn durch einen großen Resonanzinduktor auf ungefähr 30000 Volt. Eine Batterie von 6 Leidener Flaschen, an die eine Sicherheitsfunkenstrecke angeschlossen war, stand mit der Sekundärspule des Induktors in Verbindung.

Die sämtlichen Aufnahmen wurden an dem besten Rowlandschen Konkavgitter gemacht, das dem Physikalischen Institut zur Verfügung steht; dieses Gitter hat 787 Furchen pro mm und einen Krümmungsradius von 6,34 m. Die Gitteraufstellung ist ungefähr dieselbe, wie sie im Handbuch der Spektroskopie Band 1 von

H. Kayser angegeben ist. Auf gute Justierung wurde besonders viel Wert gelegt. Die Entfernung des Spaltes vom Gitter wurde zunächst annähernd mit dem Auge justiert, dann deren genauere Einstellung und die der Parallelstellung des Spaltes mit den Gitterfurchen durch photographische Versuchsaufnahme vorgenommen. Da die Aufnahmen in den Wintermonaten gemacht wurden, so erwies es sich als sehr praktisch, die Temperatur im Gitterzimmer auf $12^0$ C konstant zu halten und später auf $18^0$ C.

Die handliche Bogenlampe befand sich in einem Gehäuse, dessen vom Gitter abgewandter Teil aus einem großen dunklen Tuch bestand. Das Ganze hatte nach oben hin einen großen trichterförmigen Abzug, der durch Röhre nach außen hin mit einem Ventilator in Verbindung gebracht wurde, so daß die Zinn- und Eisendämpfe immer gut abgeleitet wurden. In der dem Gitter und dem Spalt zugekehrten Wand des Gehäuses befand sich eine kreisrunde Öffnung. Durch diese fiel das Licht der Bogenlampe auf eine Linse, die aus Glas oder Quarz war, je nach der Stelle im Spektrum, die gerade photographiert wurde. Um ein scharfes Bild des Lichtbogens auf dem Spalt zu erhalten, stand die Linse genau in der Mitte zwischen Spalt und Lampe, und zwar von jedem um die doppelte Brennweite entfernt. Es wurde so lange justiert, bis die Mitte des Gitters, die Achse des Spaltrohres, die optische Achse der Linse und endlich die ungefähre Mitte des Bogens alle auf einer Geraden lagen. Durch einen passenden Schirm zwischen Linse und Spalt wurde in den meisten Fällen das Bild der glühenden Kohleelektroden abgefangen und zu gleicher Zeit auch die Lichtstrahlen, die durch die kreisrunde Öffnung nicht die Linse trafen, wodurch kein „falsches Licht" das Gitter erreichen konnte. Um im langwelligen Teil des Spektrums die höheren Ordnungen zu beseitigen, stellte ich eine Glasplatte oder eine Kaliumbichromat- oder Chininlösung in den Lichtkegel der Linse.

Beim Photographieren des Eisenbogenspektrums als Vergleichsspektrum wurde die Platte durch einen passenden Schieber halb abgeblendet, während bei der Aufnahme des Zinnspektrums die ganze Platte exponiert wurde. Hierdurch waren die Zinnlinien und die Linien der Verunreinigungen des Zinns sofort von den Eisenlinien zu unterscheiden, was für die spätere Messung eine große Erleichterung bedeutet. Andererseits aber ist dieses Verfahren insofern nicht ganz einwandfrei, als eine Verschiebung der beiden Spektra gegeneinander nicht ganz ausgeschlossen scheint entweder durch eine, wenn auch noch so geringe Erschütterung der photo-

graphischen Platte beim Hineinfügen bzw. Herausholen der Schieberblende, oder dadurch, daß zwischen den zeitlich getrennten Aufnahmen des Haupt- und Vergleichsspektrums eine merkliche Temperaturdifferenz im Gitterzimmer eintritt. Jedoch glaube ich, auf beide Fehlerquellen genügend Rücksicht genommen zu haben.

Als Platten benutzte ich die gewöhnlichen und orthochromatischen und Pinazyanolplatten der Firma Westendorp und Wehner (Köln) und nur vereinzelt Dr. Schleussners Gelatineemulsionsplatten. Jedoch ging ich bald dazu über, die Platten selbst für Rot und Grün zu sensibilisieren, und benutzte hierzu von der Kölner Firma die gewöhnlichen Platten, die in den meisten Fällen nur wenige Tage alt waren und sich daher besonders gut präparieren ließen. Das Rezept hierzu stammt aus den Lick Observatory Bulletins 1909 (California); Dr. Keivin Burns hat mich darauf aufmerksam gemacht und mir seine Erfahrungen auf diesem Gebiete in dankenswerter Weise zugute kommen lassen. (Die Zusammensetzung der Mischung siehe Zeitschrift für wissenschaftl. Photographie 1913: Fritz Klein, Das Bogen- und Funkenspektrum von Blei).

In vollständiger Dunkelheit wird die zu präparierende Platte in die Lösung hineingelegt und fünf Minuten lang gebadet, wobei letztere durch sanftes Hin- und Herschaukeln der Schale in langsamer Bewegung zu halten ist. Hierauf wird die Platte aus dem Sensibilisierungsbad genommen, einige Male in der Luft hin- und hergeschwenkt, um so die noch anhaftenden Flüssigkeitstropfen zu entfernen, und dann eine Minute lang in möglichst reinem Alkohol ebenso wie vorher gebadet; daraufhin wird sie möglichst schnell und gründlich an einem Ventilator etwa 45 Minuten getrocknet. Diese Platten müssen — selbstverständlich in völliger Dunkelheit — langsam, aber ganz durchentwickelt werden. Um festzustellen, inwieweit dies schon geschehen, entfernte ich, nachdem die Platte etwa drei Minuten im Entwickler — es war Agfa Rodinal — gelegen hatte, rasch an einem Ende der Entwicklerschale für einen Augenblick das schwarze Papier, womit diese bedeckt war. Ein abermaliges Nachsehen erfolgte am anderen Ende der Platte. Jedoch gehört hierzu schon einige Übung, da leicht auch bei ganz dunkelrotem Licht im Augenblick eine vollständige Schwärzung des exponierten Teiles der Platte eintreten kann. Sämtliche Platten wurden mit unterschwefligsaurem Natron fixiert.

Die so sensibilisierten Platten sind bedeutend empfindlicher als die Pinazyanolplatten. Bei Benutzung des ersten Rezeptes haben wir ein Minimum der Farbenkurve im Grünen, ein kurzes niedriges

Maximum im Orangen und ein breites höheres Maximum bei ungefähr 6500. Von dort fällt die Empfindlichkeit plötzlich sehr stark ab bis 7400 und von da ab allmählich bis ca. 8000. Bei Benutzung des Dicyaninbades ist das Maximum bei 6500 verbreitert nach Rot hin, und sind die Platten bis 7200 gut empfindlich; von dort an aufwärts läßt auch hier die Empfindlichkeit langsam nach. Die einzelnen Farbstoffe müssen im Dunkeln aufbewahrt werden. Wenn sich auch die Bäder einige Tage gut halten, so erscheint es mir doch besser zu sein, die Lösung jedesmal neu anzusetzen. Die so empfindlich gemachten Platten hielten sich — bei ca. 15° C aufbewahrt — immerhin 4—5 Tage; bei 0° C sollen sie sich mindestens drei Wochen halten.

Von $\lambda = 5631$ bis $\lambda = 2571$ wurde das Spektrum in zweiter Ordnung photographiert, das übrige in erster Ordnung. Von $\lambda = 6000$ ab aufwärts mußten die überlagerten Eisenlinien zweiter Ordnung als Normalen benutzt werden; dieses Verfahren durfte deshalb hier Anwendung finden, weil bei dem vorliegenden Gitter die entsprechenden Linien der ersten, zweiten und dritten Ordnung — der Theorie entsprechend — genau zusammenfallen. Wo es zweckdienlich erschien, wurde an einer Stellung eine kurze und eine lange Aufnahme sowohl des Bogen- wie des Funkenspektrums gemacht. Dann wurden auch die einzelnen Stellungen, von denen aus das Spektrum photographiert wurde, so gewählt, daß die Platte immer die vorhergehende halb überdeckte. Auf diese Weise konnte ich ziemlich einwandfrei feststellen, ob auf einer Platte die Zinnlinien sich nicht gegen die Eisenlinien verschoben hatten.

Die Messungen wurden ausgeführt auf der Teilmaschine des Bonner Physikalischen Instituts, die nach den Angaben von Kayser von Woltz konstruiert worden ist. Dieselbe hat eine Spindel von einer Ganghöhe von 0,33 mm und ist mit einem Druckapparat versehen, der es ermöglicht, die Hundertstel einer Umdrehung der Schraube abzulesen, während die Tausendstel abgeschätzt werden können. (Nähere Beschreibung der Maschine siehe Kaysers Handbuch der Spektroskopie, Band I.) Fast alle Linien wurden mindestens viermal gemessen, und zwar je zweimal auf den Platten zweier aufeinanderfolgender Stellungen. Dabei wurde auch womöglich immer ein anderer Teil der Spindel benutzt. Stimmten die Resultate nicht befriedigend überein, derart, daß ein Wert zu weit herausfiel, so wurden noch eine oder zwei Messungen ausgeführt, um den wahrscheinlichen Wert genauer zu bestimmen. Jede einzelne Messung wurde folgendermaßen vorgenommen: Zu-

nächst wurde der Bereich zwischen den zwei betreffenden Normalen einmal gemessen und etwa 30 Umdrehungen über die zweite Normale hinausgeführt; hierauf wurde zurückgedreht und so der Bereich im umgekehrten Sinne wie vorher nochmals gemessen. Um nun den periodischen Fehler der Schraube zu eliminieren, wurde, nachdem die Anfangsnormale bei der Rückwärtsmessung das Fadenkreuz passiert hatte, in dem gleichen Sinne noch eine halbe Umdrehung gemacht und daraufhin das Fadenkreuz auf die Normale neu eingestellt. Nach einer weiteren Rück- und Vorwärtsdrehung von ungefähr 30 Umdrehungen wurde noch eine Hin- und Hermessung genau wie vorher ausgeführt. Das Mittel aus den vier Ablesungen jeder Linie stellt dann eine Messung dar. Handelte es sich um eine Messung eines größeren Bereichs, so wurde eine Korrekturkurve für die Spindel benutzt. Einzelne Linien waren unter dem Mikroskop der Teilmaschine nicht mehr sichtbar und wurden daher auf der Platte anpunktiert; die so gemessenen Linien sind in der Tabelle mit einem Sternchen * versehen. Bei einfachen Linien wurde das Fadenkreuz auf die Mitte der Linie eingestellt, bei einseitig verbreiterten Linien auf das Maximum der Schwärzung, bei umgekehrten Linien dagegen auf die Mitte der hellen Partie.

Die Linien unterhalb $\lambda$ 2373 wurden extrapoliert. Da nun meine Messungen bis 2069 herunterreichen, so sah ich mich genötigt, für diesen Bereich eigene Hilfsnormalen zu bestimmen, und benutzte hierzu die Zinnlinien: 2354, 2334, 2268, 2246, 2194, 2150 und 2113, indem ich durch Extrapolieren zunächst die Linie 2354 möglichst genau bestimmte und dann 2334 unter Benutzung von 2413 und 2354 als Normalen und so fort, wobei der zwischen den Hilfsnormalen liegende Bereich immer größer war als der gerade extrapolierte. Einige Rückwärtsmessungen als Proben ergaben die Eisennormale 2373 auf ein oder zwei Tausendstel genau.

In den Tabellen sind die Intensitäten der Linien mit den Zahlen von 0 bis 10 wiedergegeben. Linien, die unter dem Mikroskop nicht mehr sichtbar waren, haben die Intensität 0, die schwächsten noch eben sichtbaren die Intensität 1. Das Aussehen der Spektrallinien ist durch die von H. Kayser gebrauchten Bezeichnungen angegeben: R = umgekehrt, u = unscharf, U = sehr unscharf, r = nach Rot abschattiert, v = nach Violett abschattiert, W = Wisch. r oder v in Verbindung mit R bedeutet: Die Umkehrlinie hat eine stärkere rote bzw. violette Komponente. Sehr häufig lag der Begriff „sehr unscharf" und „Wisch" eng beieinander. Sämtliche Vergleichstabellen habe ich Kaysers Handbuch der Spektroskopie entnommen.

| Hemsalech Funke | Eder u. Valenta Funke | Exner u. Haschek Bogen | Exner u. Haschek Funke | Hartley u. Adeney Funke | Kayser u. Runge Bogen | Arnolds Bogen | Arnolds Funke |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — | — | 7800,282 1 | — |
| — | 6844,05 6 | — | 6844,5 1u | — | — | — | 6844,00* 1v |
| — | 6579,75 8 | — | — | — | — | — | 6579,26* 0 |
| — | — | — | 6564, 1u | — | — | — | 6563,24 2W |
| — | 6453,36 10 | — | 6453,0 30d? | — | — | — | 6453,45 6v |
| — | 6149,81 20 (Bogen) | — | — | — | — | 6149,620 3 | — |
| — | — | — | — | — | — | 6073,55* 1u | — |
| — | — | — | — | — | — | 69,08* 2u | — |
| 5800,8 12u | 5799,80 30 | — | 5799,4 10r | — | — | — | 5799,3 4Ur |
| 5631,9 2 | 5631,92 3 | 5631,91 2 | 5631,91 3 | — | 5631,91 5 | 563169 6 | 5631,73 2 |
| — | 5631,89 5 (Bogen) | — | — | — | — | — | — |
| 5589,3 20u | 5589,54 30 | — | 5589,2 5r | — | — | — | 5589,43* 3W |
| 63,0 30u | 62,96 50 | — | 62,5 5r | — | — | — | 62,90* 2W |
| — | — | — | — | — | — | — | 5511,46* 2 |
| — | — | — | — | — | — | — | 5498,64* 1 |
| 5480,8 0 | — | — | — | — | — | — | 79,14* 1 |
| 77,0 0 | — | — | — | — | — | — | — |
| 62,2 0u | — | — | — | — | — | — | 63,6* 1u |
| 53,55 0u | — | — | — | — | — | — | — |
| 5369,8 3u | — | — | 5369,5 1u | — | — | — | — |
| 49,0 4u | 5349,37 2 | — | 49,1 1u | — | — | — | 5349,21* 0 |
| 33,3 10u | 33,10 30 | — | 32,8 3r | — | — | — | 33,21* 0 |
| 5291,5 1u | — | — | 5291 1u | — | — | — | — |
| 24,85 5u | 5225,09 1 | — | 24,7 1u | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | 5223,82* 1 |
| — | — | — | — | — | — | — | 5198,784 2 |
| 5192,5 1u | — | — | — | — | — | — | 5120,950 1 |
| — | 5105,76 1 | — | — | — | — | — | — |
| 00,8 7u | 00,56 2 | — | 5100,60 2 | — | — | — | 00,35* 2 |
| 5025,7 3u | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | 5020,7 1u | — | — | — | — |
| 4934,55 1U | — | — | — | — | — | — | — |
| 24,2 6u | — | — | 4924,30 1 | — | — | — | — |
| 4858,2 6u | — | — | 4858,30 5 | — | — | — | 4858,30* 2 |
| — | 4843,92 2 | — | — | — | — | — | — |
| 4715,6 0u | — | — | — | — | — | — | — |
| 4670,55 2U | — | — | — | — | — | — | — |
| 18,1 3u | 4618,36 2 | — | 4618,35 2 | — | — | — | — |
| 4585,85 20u | 4585,71 5 | — | 4585,80 30 | 4584,3 | — | — | 4585,67 3u |
| 24,9 10 | 24,91 5 | 4524,90 15 | 24,90 30 | 24,0 | 4524,92 5 | 4524,740 6 | 24,78 5 |
| 11,55 0? | — | — | — | — | — | 11,30 2 | — |
| 4474,9 0u | — | — | — | — | — | — | — |
| 4330,3 5u | — | — | 4330,30 2 | — | — | — | 4330,04* 0 |
| — | — | — | — | 4324,6 | — | — | — |
| 4290,5 2u | — | — | — | — | — | — | — |
| 75,6 1U | — | — | — | — | — | — | — |
| 15,55 10u | — | — | 4215,9 2 | 4215,3 | — | — | — |
| 4102,0 u | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | 4077,73 1 | — |
| 4020,4 3u | — | — | — | — | — | — | — |
| 14,1 1u | — | — | — | — | — | — | — |
| 3962,85 10U | — | — | 3962,9 1u | 3961,8 | — | — | 3962,75* 2W |
| — | — | — | — | 47,0 | — | — | — |
| 07,95 10u | — | — | 07,38 4 | 06,6 | — | — | 07,15 4 |
| 02,45 1 | — | — | — | — | — | — | — |

| Hemsalech Funke | Eder u. Valenta Funke | Exner u. Haschek Bogen | Exner u. Haschek Funke | Hartley u. Adeney Funke | Kayser u. Runge Bogen | Arnolds Bogen | Arnolds Funke |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3898,15 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| 94,9 0 | — | — | — | — | — | — | — |
| 61,3 10u | — | — | 3860,2 1u | 3859,0 | — | — | 3861,2* 1W |
| 01,1 10 | — | 3801,19 30R | 01,32 20 | 00,3 | 3801,16 4R | 3801,031 9R | 01,028 8Rr |
| — | — | — | — | — | — | — | 3797,42* 0 |
| 3785,85 1u | — | — | — | — | — | — | 85,75* 0 |
| 84,0 3u | — | — | 3783,8 1u | 3783,4 | — | — | 83,7* 2W |
| 79,7 1u | — | — | 79,6 1u | 79,0 | — | — | 79,52* 1W |
| 64,7 2u | — | — | 64,7 1u | 63,9 | — | — | 64,47* 1W |
| 46,65 3u | — | — | — | — | — | — | — |
| 45,8 5u | — | — | 45,8 2r | 45,1 | — | — | 45,8 4Wr |
| 35,2 3u | — | — | 35,2 1u | 34,4 | — | — | 35,02* 0W |
| 30,2 3u | — | — | 30,2 1u | 27,0 | — | — | 30,08* 1W |
| 08,2 5u | — | — | 08,1 2u | 07,6 | — | — | 08,0* 2W |
| — | — | — | — | 3686,7 | — | — | — |
| — | — | — | — | 67,6 | — | — | — |
| 3655,95 0 | — | 3655,92 5 | 3655,91 3 | 55,5 | 3655,88 3 | 3655,78 4 | 3655,776 3 |
| — | — | — | — | 23,9 | — | — | — |
| — | — | — | — | 16,9 | — | — | — |
| — | — | — | — | 09,3 | — | — | — |
| 3599,05 2u | — | — | 3599,02 2u | 3598,3 | — | — | 3599,96* 0 |
| — | — | — | 73,8 1u | 74,0 | — | — | — |
| — | — | — | 50,7 1u | 49,7 | — | — | — |
| — | — | — | — | 39,3 | — | — | — |
| — | — | — | — | 14,8 | — | — | — |
| — | — | — | — | 3487,3 | — | — | — |
| — | — | — | — | 71,1 | — | — | — |
| — | — | — | 3412,9 1u | 12,7 | — | — | 3412,8 3W |
| — | — | — | — | — | — | — | 3399,01 2 |
| — | — | — | — | 3390,4 | — | — | — |
| — | — | — | 3352,47 20r | 51,8 | — | — | 52,29 10W |
| — | — | 3330,80 20 | 3330,83 6 | 30,0 | — | 3330,596 6 | 30,60 6Rr |
| — | — | — | — | 14,6 | — | — | — |
| — | — | — | 3283,60 20r | 3282,9 | — | — | 3283,5 10W |
| — | — | 3262,50 100R | 62,40 30R | 61,6 | 3262,44 5R | 3262,338 10R | 3262,34 10Rr |
| — | — | — | — | 45,0 | — | — | 27,2 1 |
| — | — | — | — | — | — | — | 26,2 1 |
| — | — | 23,70 1 | 23,71 1 | 19,6 | — | 23,574 1 | 23,55 2r |
| — | — | 18,84 3 | 18,8 1 | 18,0 | 18,73 3 | 18,690 3 | 18,682 2 |
| — | — | 3175,16 100R | 3175,15 20R | 3174,3 | 3175,12 5R | 3175,039 10R | 3175,014 9Rr |
| — | — | 41,97 5 | 42,01 3 | 40,6 | 41,92 3 | 41,823 4 | 41,806 4 |
| — | — | — | 23,3 1u | 22,3 | — | — | 23* 0 |
| — | — | — | — | 3075,2 | — | — | — |
| — | — | — | 3071,9 1u | 70,6 | — | — | 3071,2* 0 |
| — | — | 3067,92 1 | — | — | — | 3067,76 2 | — |
| — | — | — | 47,2 1u | 46,5 | — | — | — |
| — | — | 34,25 50R | 34,24 10R | 33,1 | 3034,21 6R | 34,116 9R | 34,094 8Rr |
| — | — | 32,90 8 | 32,99 3 | — | 32,88 3R | 32,783 4 | 32,781 5 |
| — | — | 09,33 50R | 09,25 10R | 07,9 | 09,24 6R | 09,138 9R | 09,11 8Rr |
| — | — | — | — | — | 2922,48 2R | — | — |
| — | — | 2913,63 10 | 2913,65 2 | 2911,9 | 13,67 4R | 2913,542 6 | 2913,54 4Rv |
| — | — | — | 2896,23 3 | 2895,0 | — | — | 2896,093 3 |
| — | — | — | 87,9 1 | 86,9 | | — | 87,7* 1 |
| — | — | — | — | 77,4 | — | — | — |
| — | — | — | — | 74,7 | — | — | — |
| — | — | 2863,53 20R | 63,33 15R | 62,1 | 2863,41 6R | 2863,320 8R | 63,33 8Rv |
| — | — | 50,72 10R | 50,71 6 | 49,3 | 50,72 4R | 50,618 6R | 50,62 7Rv |

| Exner u. Haschek | | | | Hartley u. Adeney | Kayser u. Runge | | Arnolds | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Funke | Bogen | | Bogen | | Funke | |
| — | | — | | 2847,6 | — | | — | | — | |
| 2840,17 | 30R | 2840,10 | 20R | 38,9 | 2840,06 | 6R | 2839,985 | 8R | 2839,98 | 10Rr |
| 13,67 | 4R | 13,70 | 3 | 12,5 | 13,66 | 3R | 13,582 | 5R | 13,58 | 4Rv |
| 12,72 | 3 | 12,75 | 1 | 11,5 | 12,70 | 3 | 12,566 | 4 | 12,60 | 3 |
| — | | — | | — | — | | 2790,187 | 2 | — | |
| — | | — | | — | — | | 89,323 | 1 | — | |
| 2788,13 | 1 | — | | 2787,3 | 2788,09 | 4R | 87,936 | 2 | — | |
| 85,11 | 3 | 2785,15 | 3 | 84,0 | 85,14 | 3R | 85,027 | 4 | 2785,02 | 4 |
| 79,91 | 4R | 79,89 | 4 | 78,8 | 79,92 | 4R | 79,814 | 4 | 79,81 | 5Rv |
| — | | — | | 65,0 | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | — | | 61,784*) | 4 | — | |
| — | | — | | 54,0 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 51,8 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 49,0 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 46,0 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 38,4 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 33,0 | — | | — | | — | |
| 06,64 | 10R | 06,57 | 10R | 05,8 | 06,61 | 6R | 06,504 | 7R | 06,52 | 7Rr |
| — | | 2665,70 | 1 | 2664,9 | — | | — | | 2665,559 | 2 |
| 2661,37 | 3R | 61,43 | 1 | 60,2 | 2661,35 | 4R | 2661,245 | 5R | 61,258 | 4Rv |
| — | | 58,71 | 10 | 57,9 | — | | — | | 58,61 | 5 |
| — | | 46,28 | 2 | 45,4 | — | | — | | 46,13 | 2 |
| — | | 43,70 | 6 | 43,2 | — | | — | | 43,58 | 4u |
| — | | — | | — | 37,05 | 3u | 36,988 | 1 | — | |
| — | | 31,97 | 4 | 31,5 | — | | — | | 31,865 | 4 |
| — | | 18,78 | 1 | 17,9 | — | | — | | 18,633 | 1 |
| — | | — | | 13,8 | — | | 14,177[1]) | 1 | — | |
| — | | — | | 11,0 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 06,3 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 2598,5 | — | | — | | — | |
| 2594,53 | 3 | 2594,54 | 3 | 93,6 | 2594,49 | 4R | 2594,431 | 4 | 2594,44 | 3R |
| — | | 93,0 | 1u | 91,7 | — | | — | | 93,04* | 0W |
| 71,69 | 5 | 71,70 | 5R | 70,5 | 71,67 | 5R | 71,598 | 5 | 71,61 | 6Rv |
| — | | — | | 63,2 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 57,7 | 58,12 | 4r | 58,056 | | — | |
| 46,68 | 3R | 46,80 | 3 | 45,6 | 46,63 | 5R | 46,552 | 5R | 46,550 | 5Rr |
| — | | 46,60 | 1 | — | — | | — | | — | |
| — | | — | | 30,8 | 31,35 | 4r | 31,122 | 1 | 31,3 | W |
| — | | — | | — | 26,13 | 1r | — | | — | |
| 24,05 | 1 | 24,02 | 1 | 23,4 | 24,05 | 3R | 23,912 | 2 | 23,94 | 2 |
| — | | — | | 14,0 | 24 | | — | | — | |
| — | | — | | 06,0 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 2499,3 | 2499,30 | 1r | — | | — | |
| — | | — | | — | — | | 2497,724 | 2 | — | |
| — | | — | | — | — | | 96,768 | 2 | — | |
| 2495,90 | 2 | 2495,81 | 4R | 95,0 | 95,80 | 5R | 95,722 | 4 | 2495,719 | 5Rv |
| — | | — | | — | 91,91 | 2r | 91,71 | 1 | — | |
| — | | 88 | 1u | 88,0 | — | | — | | 87,9 | W |
| 83,60 | 3R | 83,44 | 4R | 82,9 | 83,50 | 5R | 83,389 | 5 | 83,409 | 5Rv |
| 55,34 | 1 | 55,33 | 1 | 55,5 | 55,30 | 3 | 55,250 | 2 | 55,240 | 3 |
| — | | 49,9 | 2u | 49,4 | — | | — | | 49,56 | W |
| — | | — | | 45,2 | — | | — | | — | |
| — | | 37,0 | 1 | 36,4 | — | | — | | 36,886 | 1 |
| 33,58 | 1 | — | | 33,3 | 33,53 | 2 | 33,473 | 1 | — | |
| 29,66 | 5R | 29,56 | 10R | 29,3 | 29,58 | 6R | 29,490 | 7R | 29,485 | 8Rv |
| 21,82 | 4R | 21,79 | 10R | 21,8 | 21,78 | 6R | 21,690 | 6R | 21,694 | 8Rr |
| 08,25 | 1 | 08,28 | 1 | 08,0 | 08,27 | 4R | 08,143 | 2 | 08,186 | 3 |

| Exner u. Haschek | | | | Hartley u. Adeney | Kayser u. Runge | | Arnolds | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bogen | | Funke | | Funke | Bogen | | Bogen | | Funke | |
| — | | — | | 2395,8 | — | | — | | — | |
| — | | — | | 93,7 | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | 2386,96 | 2U | — | | — | |
| — | | — | | 82,3 | — | | — | | — | |
| 2380,87 | 1 | 2380,80 | 1 | 81,1 | 80,82 | 3R | 2380,742 | 3 | — | |
| — | | 68,31 | 3 | 68,3 | — | | 68,217 | 1 | 2368,233 | 3 |
| — | | — | | — | 64,89 | 2U | — | | — | |
| — | | — | | — | 58,05 | 3 | 57,88 | 1 | 57,91 | 1 |
| 54,93 | 3R | 54,93 | 4R | 55,0 | 54,94 | 6R | 54,840 | 5R | 54,838 | 6R |
| — | | — | | — | — | | — | | 41,12 | 1 |
| 34,88 | 1u | 34,87 | 2R | 35,3 | 34,89 | 5R | 34,799 | 4R | 34,805 | 4R |
| 17,30 | 3R | 17,38 | 3R | 17,9 | 17,32 | 6R | 17,21 | 5R | 17,23 | 4Rr |
| 2286,75 | 1u | 2286,8 | 1 | 2288,1 | 2286,79 | 4R | 2286,65 | 3 | 2286,67 | 3R |
| — | | — | | — | 82,40 | 3 | 82,222 | 1 | 82,29 | 2 |
| 69,08 | 1R | 69,02 | 2R | 70,0 | 69,03 | 6R | 68,902 | 3R | 68,910 | 3R |
| 67,60 | 1 | 67,5 | 1u | 68,6 | 67,30 | 4R | 67,160 | 2 | 67,19 | 1 |
| 67,07 | 1 | — | | 67,1 | — | | — | | 66,000 | 3 |
| — | | 66,13 | 2 | — | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | 51,29 | 4R | 51,12 | 2 | 51,26 | 2 |
| — | | 46,11 | 2R | 47,0 | 46,15 | 6R | 46,02 | 3R | 46,034 | 3Rv |
| — | | — | | — | — | | — | | 43,311 | 1 |
| — | | 31,9 | 1 | 33,2 | 31,80 | 4R | 31,68 | 1 | 31,72 | 2 |
| — | | 29,2 | 1 | 29,6 | — | | — | | 29,08 | 1 |
| — | | 21,25 | 1 | 21,5 | — | | — | | 20,84 | 1 |
| — | | — | | 15,2 | — | | — | | 14,90 | 1 |
| — | | 09,71 | 1R | 10,1 | 09,78 | 6R | 09,60 | 1R | 09,62 | 2R |
| — | | 2199,68 | 1 | 2199,2 | 2199,46 | 6R | 2199,29 | 1R | 2199,32 | 2R |
| — | | 99,4 | 1 | — | — | | — | | — | |
| — | | 94,67 | 1R | 95,0 | 94,63 | 5R | 94,42 | 1R | 94,471 | 2R |
| — | | — | | — | 71,5 | 4R | — | | — | |
| — | | 51,62 | 1 | 51,2 | 51,2 | 4R | — | | 51,49 | 2 |
| — | | 50,97 | | — | — | | — | | 50,82 | 2 |
| — | | — | | — | 48,7 | 5R | — | | 48,83 | 1 |
| — | | — | | — | 41,1 | 6R | — | | 40,08 | 0 |
| — | | — | | 19,2 | 21,5 | 4R | — | | — | |
| — | | — | | 13,6 | 13,9 | 4R | — | | 13,89 | 1R |
| — | | — | | — | 00,9 | 4R | — | | — | |
| — | | — | | — | 2096,4 | 6R | — | | — | |
| — | | — | | — | 91,7 | 4R | — | | 2091,44 | 1 |
| — | | — | | 2079,3 | 80,2 | 4 | — | | — | |
| — | | — | | — | 73,0 | 5R | — | | — | |
| — | | — | | 66,1 | 68,7 | 4 | — | | 69,91 | 1 |
| — | | — | | — | 63,8 | 4 | — | | — | |
| — | | — | | — | 58,3 | 4 | — | | — | |
| — | | — | | — | 53,8 | 4 | — | | — | |

1) Die Linie 2614,177 ist bisher wenigstens nicht als Sn-Linie beobachtet worden; wohl liegt bei 2614,200 eine von Fr. Klein gemessene Bleilinie. Ich halte es jedoch für ausgeschlossen, daß diese beiden Linien identisch sind, da die von Fr. Klein und mir gleichzeitig gemessenen Pb-Linien und die gemeinsamen Verunreinigungen im allgemeinen gut übereinstimmen.

2) Die Bogenlinie 2761,784 ist aller Wahrscheinlichkeit nach

nicht identisch mit der von Dr. Keivin Burns[27a]) einmal gemessenen Eisenlinie 2761,788, da erstere im Zinnspektrum eine als Eisenlinie bei weitem zu große Intensität hat.

Von den 50 Linien, die sowohl dem Bogen- wie dem Funkenspektrum angehören, konnte ich 16 für beide Spektra in Tausendstel messen. Unter den letzteren sind wiederum 8, bei denen die Differenz zwischen der Bogen- und Funkenlinie höchstens 0,006 A.-E. beträgt. Die Linien 3218 und 2368 haben je einen Unterschied von 0,008 A.-E. Bei den übrigen 6 Linien weicht das Funkenspektrum mehr oder weniger vom Bogenspektrum ab. Die drei Funkenlinien mit starker roter Komponente 3175, 3034, 2661 weisen folgende Differenzen gegen die Messungen des Bogens auf: + 0,025, + 0,022 und — 0,013; die Funkenlinie 2483 mit starker violetter Komponente hat eine Abweichung von — 0,020 A.-E. Bei der Linie 2408, die in beiden Spektra einfach ist, kann ich mir die große Differenz von 0,043 A.-E. nicht erklären, zumal die benachbarte Linie 2421 trotz roter Komponente im Funkenspektrum nur um 0,004 A.-E. sich in den beiden Spektra unterscheidet. Die Messungen der Linie 3141 weichen nicht mehr als 0,004 A.-E. im Bogen wie im Funken vom betreffenden Mittel ab; jedoch unterscheiden sich die beiden Mittel selbst um 0,017 A.-E. In sämtlichen Fällen aber, in denen zwischen den beiden Spektra eine größere Differenz als 0,008 A.-E. vorhanden ist, kann keine sogenannte Verschiebung gegen das Vergleichsspektrum vorliegen, da benachbarte Linien genau genug übereinstimmen. Andererseits scheint es mir aber auch unberechtigt zu sein, die Fälle etwa als Beweismaterial anzuführen für die von Exner und Haschek vertretene Theorie von der Inkonstanz der Wellenlängen im Zinnspektrum, weil die Genauigkeitsgrenze beim Messen der Funkenlinien, teils durch das Auftreten der roten und violetten Komponenten bei den umgekehrten Linien und teils durch die — wenn auch schwache — ungleichmäßige Abschattierung der einfachen Linien beinträchtigt zu sein scheint.

Die Bogenlinie 4511,30 ist bisher nur von Crew und Tatnall beobachtet worden (vgl. Literatur), die $\lambda = 4511,43$ finden. Einige von den dicht beieinander liegenden Linien von Exner und Haschek konnte ich auf meinen Platten nicht wiederfinden. Da ist zunächst im Funkenspektrum das Linienpaar 2546,80 und 2546,60; statt dessen ist auf meinen vier verschiedenen Funkenaufnahmen die Umkehrlinie 2546,550 mit starker roter Komponente, die vielleicht die erwähnten Autoren als zwei Einzellinien gemessen haben. Ähnlich

liegen vermutlich die Verhältnisse bei dem Bogenlinienpaar 2267,60 und 2267,07, wovon letztere doch kaum der meiner Funkenlinie 2266,000 entsprechen kann; ich erhalte die Bogenlinie 2267,160 mit kaum merklicher Umkehrung, und Kayser und Runge fanden auch eine Umkehrlinie. Auf die Unwahrscheinlichkeit des Linienpaares 2199,68 und 2199,4 werde ich noch in dem Abschnitt über Gesetzmäßigkeiten zurückkommen.

Hemsalech findet außer der Linie 3745,8 noch eine Linie 3746,65, die von keinem anderen Forscher beobachtet worden ist. Bei einer vierstündigen Aufnahme erhielt ich an der Stelle 3745,8 einen breiten Wisch mit Abschattierung nach Rot hin. Nun liegen aber bei 3745,900 und bei 3746,479 Eisenlinien[27a]), die auch bei meinen Aufnahmen — Zinn 4 bzw. 2 Stunden, Eisen 6 bzw. 5 Minuten — das Aussehen des Zinnwisches 3745,8 durch ihre Fortsätze in den Bereich des Zinnspektrums beeinflussen. Vermutlich hat daher gerade diesem Umstande die Doppellinie von Hemsalech ihre Scheinexistenz zu verdanken.

### Gesetzmäßigkeit im Sn-Spektrum.

Wie schon bemerkt, haben Kayser und Runge im Bogenspektrum des Zinns eine gesetzmäßige Lagerung entdeckt, die darin besteht, daß sich eine Gruppe von 13 Linien dreimal mit gleichen Schwingungsdifferenzen wiederholt. Wir können also, wenn wir die beiden Schwingungsdifferenzen genau kennen, aus irgendeiner der drei Gruppen von Linien immer die beiden anderen berechnen. Ich habe diese Gesetzmäßigkeit auf meine Messungen hin nachgeprüft und eine schöne Übereinstimmung gefunden. Da aber meine Messungen des Bogenspektrums nur bis 2199 herabreichen, mußte ich auf die drei kurzwelligsten Triplets verzichten. In der nun folgenden Tabelle stehen in der ersten Kolonne die Wellenlängen der Ausgangslinien. Diese Wellenlängen wurden alsdann aufs Vakuum reduziert und die Schwingungszahlen der letzteren berechnet. Hierzu wurde jedesmal 5185,430 bzw. 6921,269 — das sind die Mittel aus den Schwingungsdifferenzen der nicht extrapolierten Linien — addiert. Aus diesen neuen Schwingungszahlen wurden die Wellenlängen berechnet, die wiederum auf Wellenlängen in Luft umgerechnet wurden. Die auf diese Weise berechneten Linien befinden sich in der zweiten und vierten Kolonne der Tabelle, während in der dritten und fünften die Differenzen der berechneten gegen die gemessenen Werte stehen.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3801,031 | 3175,039 | 0,000 | 3009,140 | + 0,002 |
| 3330,596 | 2839,968 | − 0,017 | 2706,492 | − 0,012 |
| 2850,618 | 2483,402 | + 0,013 | 2380,741 | − 0,001 |
| 2813,582 | 2455,250 | 0,000 | 2354,845 | + 0,005 |
| 2785,027 | 2433,471 | − 0,002 | 2334,809 | + 0,010 |
| 2779,814 | 2429,490 | 0,000 | | |
| 2594,431 | 2286,68 | + 0,03 | 2199,30 | + 0,01 |
| 2571,598 | 2268,93 | + 0,03 | | |
| 2523,912 | 2231,72 | + 0,04 | (2148, fehlt) | |
| 2495,722 | 2209,60 | 0,00 | | |

Neben der von Kayser und Runge entdeckten Gesetzmäßigkeit sind neuerdings im Zinnspektrum Serien von T. van Lohuizen angenommen worden, auf die ich hier etwas näher eingehen will. Van Lohuizen stellt eine Spektralformel auf, der folgender Gedanke zugrunde liegt: „Für jede Serie ist die Kurve, die man erhält, wenn man die Parameter 1, 2, 3 . . . als Abszissen und die reziproken Werte der Wellenlängen als Ordinaten aufträgt, die gleiche, nur bezogen auf ein anderes Koordinatensystem.“ Diese Kurve wird dargestellt durch die Gleichung

$$10^8 \cdot \lambda^{-1} = -\frac{N}{x^2},$$

wo $N$ die von Ritz eingeführte Naturkonstante (cf. Ann. d. Phys. 25, S. 660; 1908) und $x$ nacheinander gleich 1, 2, 3 . . . zu setzen ist. Aus dieser Formel leitet er eine allgemeinere ab, die für ein und dasselbe Koordinatensystem und für alle Serien gilt. Nach einigen Vereinfachungen erhält er schließlich

$$10^8 \lambda^{-1} = A - \frac{N}{(n + B + C\lambda^{-1})^2}.$$

Während Rydberg[33]) in seiner allgemeinen Spektralformel nur eine Verschiebung des Koordinatensystems vornimmt, wenn er von einem Element zum anderen übergeht, tritt bei van Lohuizen in diesem Falle noch eine meist kleine Drehung der Kurve ein. Von dieser Kurve baut er sich ein Modell für sämtliche Serien, das den wichtigsten Teil derselben, nämlich den Bereich $10^8 \lambda^{-1} = -\frac{109675{,}0}{x^2}$, und das zugehörige Achsensystem enthält; durch eine an dem Modell angebrachte feine Noniusteilung kann er die vier ersten Stellen der mit $10^8$ multiplizierten Schwingungszahlen — die zugehörigen $\lambda$ in A.-E. ausgedrückt — ermitteln.

Mit Hilfe dieses Modells findet van Lohuizen neun Serien im Zinn von 3 bis 6 Gliedern. Die ersten 6 und die übrigen 3 bilden je eine sogenannte Translationsgruppe. Die Intensitätsschätzungen entnimmt er fast durchweg den Angaben von Exner

und Haschek, ebenso die zum Vergleich mit den berechneten Wellenlängen angeführten gemessenen Wellenlängen.

Was nun die bei diesen Serienberechnungen erreichte Genauigkeit anbelangt, so ist meines Erachtens die Fehlergrenze in den meisten Fällen weit überschritten; denn bezeichnen wir mit $\lambda_w$ die gemessenen und mit $\lambda_b$ die berechneten Längenwellen, so ist z. B. für die Linie 2408 in Serie I (für $n = 4$) $\lambda_w - \lambda_b = - 0{,}44$ A.-E.

für 2779 in Serie VI 1 $\lambda_w - \lambda_b = - 0{,}14$ A.-E.
„ 2483 „ „ VII 4 $\lambda_w - \lambda_b = + 0{,}97$ A.-E.
„ 2421 „ „ VII 5 $\lambda_w - \lambda_b = - 0{,}46$ A.-E.

Die anderen größeren Differenzen $\lambda_w - \lambda_b$ von den Linien unterhalb 2373 will ich hier nicht geltend machen, da bei den extrapolierten Linien die größere Fehlergrenze der benutzten Messungen in Betracht kommen. Wenn auch den angeführten großen Differenzen kleine gegenüberstehen, wie 0,00 bzw. 0,01 A.-E. in VII 1 u. 2 und in IX 1 u. 2, so sind doch die Differenzen durchschnittlich zu groß im Verhältnis zu den Fehlergrenzen der Vergleichsmessungen und erst recht zu groß im Verhältnis zu den Differenzen zwischen den von mir gemessenen und berechneten Wellenlängen der Gesetzmäßigkeit von Kayser und Runge. Wenn $\lambda_w - \lambda_b = 0{,}5$ A.-E. oder gar noch größer sein darf, so ist der Fall wohl denkbar, daß wir ein $\lambda_b = 2813{,}07$ finden und dann die Wahl haben zwischen $\lambda_w = 2812{,}566$ und $\lambda_w = 2813{,}582$.

Van Lohuisen stellt die erste seiner Serien durch die Gleichung dar

$$(1) \qquad 10^8 \cdot \lambda^{-1} = 45\,307{,}40 - \frac{109\,675{,}0}{(n + 1{,}651\,360 - 657{,}42\,\lambda^{-1})^2}$$

und erhält dann für $n = 1, 2, 3, 4$ folgendes:

| $n$ | $\lambda_w$ | $\lambda_b$ | $\lambda_w - \lambda_b$ | Fehlergrenze | Intensität |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3655,92 | 3655,92 | 0 | 0,03 | 5 |
| 2 | 2785,14 | 2785,14 | 0 | 0,03 | 3 |
| 3 | 2524,05 | 2524,05 | 0 | 0,05 | 1 |
| 4 | 2408,27 | 2408,71 | − 0,44 | 0,03 | 1 |

Ich habe nun die obige Serienformel auf meine Messungen hin nachgeprüft, und zwar unter Reduzierung aufs Vakuum nach der Tabelle in Kaysers Handbuch der Spektroskopie Band II, S. 514, indem ich — genau wie van Lohuizen — die gemessenen Werte der

Wellenlängen für $n = 1$, 2 u. 3 dazu benutzte, die drei Konstanten $A$, $B$ und $C$ zu berechnen. Durch die Newtonsche Näherungsmethode habe ich zunächst $B$ und $C$ bestimmt und dann, nach Einsetzung der gefundenen Werte in die drei ersten Gleichungen, $A_1$, $A_2$ und $A_3$; das Mittel hieraus ergab die Konstante $A$. Die so umgerechnete Gleichung lautet

$$(1a) \qquad 10^8 \cdot \lambda^{-1} = 45299{,}929 - \frac{109675{,}0}{(n + 1{,}6514286 - 658{,}2345\,\lambda^{-1})^2}.$$

Setze ich nun in dieser Gleichung $n = 4$ und bestimme hieraus $\lambda_4$ wiederum nach der Newtonschen Näherungsmethode, so erhalte ich $\lambda_4 = 2408{,}441$ A.-E. Also

$$2408{,}143 - 2408{,}441 = \lambda_w - \lambda_b = -0{,}298 \text{ A.-E.}$$

Wenn man aber die betreffende Wellenlänge auf einige Tausendstel genau messen kann, dann ist ein Fehler von rund 0,3 A.-E. zweifellos zu groß, das heißt die aufgestellte Serienformel genügt wohl nicht den Anforderungen, die man an eine solche Gleichung stellen muß.

Abgesehen von der zu großen Abweichung von 0,3 A.-E. in Serie I 4, ist die Ungenauigkeit in der Translationsserie II noch bedeutender. Van Lohuizen erhält dieselbe, indem er zu $A = 45307{,}40$ (aus Serie I) 5187,03 addiert, also die erste der beiden von Kayser und Runge gefundenen Schwingungsdifferenzen. Das gibt

$$(2) \qquad 10^8 \lambda^{-1} = 50494{,}43 - \frac{109675}{(n + 1{,}651360 - 657{,}42\,\lambda^{-1})^2}.$$

Addiere ich zu $A$ der Gleichung 1 a die aufs Vakuum bezogene Schwingungsdifferenz 5185,430, so erhalte ich

$$(2a) \qquad 10^8 \lambda^{-1} = 50487{,}359 - \frac{109675}{(n + 1{,}6514286 - 658{,}2345\,\lambda^{-1})^2}.$$

Um die Genauigkeit dieser Gleichung zu prüfen, habe ich für $n = 2$ und $n = 3$ die Größe $A$ berechnet; (für $n = 1$ kommt die Linie 3073 im Bogen nicht vor und für $n = 4$, 5, 6 kann ich die Gleichung nicht nachrechnen, da meine Bogenmessungen nur bis $\lambda = 2194$ reichen).

Für $n = 2$ erhalte ich $A = 50675{,}602$
und für $n = 3$ „ „ $A = 50571{,}813$

Diese beiden Größen weichen um rund 100 voneinander ab. Da aber eine Änderung der zugehörigen Schwingungszahlen um 10

schon einen Einfluß von etwa 0,5 A.-E. auf die entsprechenden Wellenlängen haben, so ist damit der Nachweis erbracht, daß auch die Gleichung 2 in bezug auf meine Messungen nicht die für eine Serienformel erforderliche Genauigkeit ergibt.

Unter diesen Umständen glaube ich auf das Nachprüfen der übrigen Serien verzichten zu können; möchte aber noch auf das Folgende aufmerksam machen. Van Lohuizen findet in vier Fällen je eine Linie in zwei verschiedenen Serien und versucht nun die Frage zu beantworten: Gehören diese beobachteten Linien tatsächlich zu zwei Serien oder aber hat man es hier mit je zwei dicht nebeneinander liegenden Linien zu tun? Da ist zunächst für $\lambda = 2483{,}5$ in Serie VII (für $n = 4$) der berechnete Wert 2482,53 und in Serie VIII (für $n = 2$) 2483,49. Van Lohuizen begründet etwa folgendermaßen: „Exner und Haschek bezeichnen die Linie „3 unscharf, umgekehrt“, Kayser und Runge „2 umgekehrt“. Es ist daher nicht unmöglich, daß hier zwei Linien angenommen werden müssen. Hierfür spricht dann noch der folgende Umstand: In Serie VII ist der Verlauf der Intensitäten 30, 10, 3, 3, 5; daß für $n = 4$ die Intensität nicht kleiner als 3 ist, findet eben darin seine Erklärung, daß an dieser Stelle zwei Linien von geringerer Intensität die für die Serie zu hohe Intensität 3 ergeben“. Davon abgesehen, daß diese beiden berechneten Linien, welche fast um eine Angströmeinheit auseinanderliegen, die Umkehrlinie 2483,912 ausmachen, muß nach der Annahme von van Lohuizen die Linie 2482,53 eine kleinere Intensität als 3 haben; dann hat aber in Serie VII für $n = 5$ die Linie 2421 eine bei weitem zu große Intensität, nämlich 5. In bezug hierauf sagt er: „Warum Exner und Haschek für 2421,78 eine so große Intensität zu verzeichnen haben, während letztere doch nach Kayser und Runge schwächer als irgend eine ist, das weiß ich nicht.“ Dazu bemerke ich, daß nach meiner Abschätzung sich in Serie VII folgender Intensitätsverlauf ergibt 9, 6, 4, 5, 6, daß also für $n = 5$ die Intensität größer ist als für $n = 3$; dies aber widerspricht der Gesetzmäßigkeit, da in einer Serie mit größer werdendem $n$ die Intensitäten abnehmen.

Auch an der Stelle 2408,2 benötigt van Lohuizen zwei Linien, einmal für Serie I 4 und dann für III 2. „Da Kayser und Runge „3 umgekehrt“ und Exner und Haschek „1 unscharf“, so stimmt vermutlich 2408,71 überein mit einer sehr schwachen Linie nahe bei 2408,27, die zu Serie III gehört.“ Die Linie 2408,143 ist auf meinen Platten einfach und ist eine Begleitlinie 2408,7 nicht im geringsten angedeutet; auch ist — wie schon vorher erwähnt —

der Fehler der berechneten gegen die gemessene Linie 2408,27 tatsächlich zu groß.

Die dritte „Doppellinie“ befindet sich mit $\lambda = 2199,32$ und $\lambda = 2199,42$ in Serie VIII 4 bzw. IX 3. Nun haben unglücklicherweise Exner und Haschek im Funkenspektrum die Linien 2199,4 und 2199,68 gemessen — die beiden erwähnten Autoren messen häufiger bei anderen Elementen eine Umkehrlinie als zwei Einzellinien — und haben dadurch den Verfasser in seiner Vermutung der Richtigkeit und Berechtigung seiner Gesetzmäßigkeit bestärkt; denn er schreibt: „So treten hier die beiden Linien klar und deutlich nebeneinander auf.“ Kayser und Runge aber finden nur eine Umkehrlinie, und auch mir ist bei dem besten Willen nicht möglich gewesen, meine Umkehrlinie 2199 sowohl im Bogen wie im Funken als zwei einzelne Linien anzusehen.

Ebenso läßt meine Funkenlinie 2091 — wenn schon weniger sicher — das Bestehen einer Doppellinie, nämlich 2092,3 in II 5 und 2091,23 in V 3, als unwahrscheinlich erscheinen.

Also sowohl meine Messungen als auch das Nachrechnen der beiden ersten Serienformeln in bezug auf meine Messungen haben die Thesen van Lohuizen über die Gesetzmäßigkeit im Zinnspektrum sehr schwankend gemacht; inwieweit aber meine Bedenken berechtigt sind, darüber könnte wohl nur eine eingehende Untersuchung über Zeemaneffekt endgültigen Aufschluß geben.

## Verunreinigungen.

In der nun folgenden Tabelle sind die von mir gemessenen Linien verzeichnet, die auf Verunreinigungen des Zinns und der Kohle zurückzuführen sind. Sicherlich sind diese Angaben nicht unwichtig; sie können uns zunächst unter Umständen Schlüsse ziehen lassen über die erreichte Genauigkeitsgrenze der Messungen des betreffenden Hauptelements; was aber von größerer Bedeutung ist: durch das Vorhandensein von umfangreicherem Messungsmaterial der Verunreinigungen in den einzelnen Elementen werden wir sicher feststellen können, ob die Wellenlängen der Verunreinigungen ganz unabhängig sind von ihren im Dampf vorhandenen Mengen; also mit anderen Worten: bringen die vorhandenen Verunreinigungen derartige Druckänderungen mit sich, daß die Wellenlängen in merklichem Maße beeinflußt werden. Erhalten wir aber andererseits für einzelne dieser Linien immer die gleichen Werte, so wird in manchen Fällen eine solche als Hilfsnormale dem

Spektroskopiker gute Dienste leisten können, da deren Wellenlänge sehr häufig und vor allem von den verschiedensten Autoren und unter anderen Umständen bestimmt worden ist und auch — was nicht zu gering anzuschlagen ist — sehr oft bedeutend schärfer ist als die gerade benachbarte Eisennormale.

Zur Identifizierung der einzelnen Linien bediente ich mich der „Tabelle der Hauptlinien der Linienspektra" in Kaysers Handbuch der Spektroskopie, Band VI.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2514,325 | Si | 2881,583 | Si | 5889,95 | Na |
| 2516,123 | Si | 3067,667 | Bi | 5895,94 | Na |
| 2519,217 | Si | 3082,16 | Al | 6102,750 | Ca |
| 2524,116 | Si | 3092,712 | Al | 6122,22 | Co |
| 2663,160 | Pb | 3179,345 | Ca | 6154,47 | Na |
| 2795,538 | Mg | 3639,785 | Pb | 6162,18 | Co |
| 2802,000 | Pb | 3933,67 | Ca | 6462,59* | Ca? Co? |
| 2802,706 | Mg | 3944,026 | Al | 6707,820 | Li |
| 2833,066 | Pb | 3961,538 | Al | 7664,79 | ? |
| 2852,128 | Mg | 3968,480 | Ca | 7698,90 | Ba |
| 2873,316 | Pb | 4226,730 | Ca | | |

Zum Schluß bleibt mir noch die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Kayser meinen allerherzlichsten Dank auszusprechen für die gütige Anregung und liebenswürdige Förderung der vorliegenden Arbeit.

## Literaturverzeichnis.

1) Ch. Wheatstone, On the prismatic decomposition of electrical light. Phil. Mag. 299. 1855 und Chem. News **3.** 198. 1861.

2) W. Huggins, On the spectra of some chemical elements. Phil. Trans. **154.** II. 139—166. 1864.

3) W. N. Hartley, Photographs of the spark spectra of twenty-one elementary substances. 1881. Trans. Roy. Dublin Soc. (12) **1.** 231—238. 1883.

4) H. Becquerel, Mémoire sur l'étude des radiations infrarouges au moyen des phénomènes de phosphorescence. Ann. chim. et phys. (5) **30.** 5—68. 1883.

5) W. N. Hartley and W. E. Adeney, Measurements of the wave-lengths of lines of high refrangibility in the spectra of elementary substances. Phil. Trans. **175.** I. 63—137. 1884.

6) V. Schumann, Zur Photographie der brechbarsten Strahlen. Phot. Rundschau **41.** 71—80. 1870.

7) J. M. Eder, Die Verwendbarkeit der Funkenspektren verschiedener Metalle zur Bestimmung der Wellenlängen im Ultravioletten. Deutsche Wiener Akademie **60.** 1—24. 1893.

8) H. Kayser und C. Runge, Über die Spektren von Zinn, Blei, Arsen, Antimon, Wismut. Abhandl. Berlin. Akad. 1893; Wiedem. Ann. **52.** 93—113. 1894.

9) H. Crew and R. Tatnall, On a new method for mapping the spectra of metals. Astron. and Astrophysical. **13.** 741—747. 1894 oder Phil. Mag. (5) **38.** 379—386. 1894.

10) F. Exner und E. Haschek, Über die ultravioletten Funkenspektren der Elemente. Wiener Ber. **106.** IIa. 54—68. 1897.

11) P. Zeeman, Metingen over strahlings verschynselen in hot magnetischs veld. Zithingsversl. Amsterdam **6.** 408—411. 1897 oder Phil. Mag. **5.** 191 bis 201. 1898.

12) A. A. Michelson, Radiation in a magnetic field. Nat. **59.** 440—447. 1899.

13) J. M. Eder und E. Valenta, Normalspektren einiger Elemente zur Wellenlängenbestimmung im äußersten Ultravioletten. Deutsche Wiener Akademie **68.** 537 bis 554. 1899.

14) G. A. Hemsalech, Recherches expérimentales sur les spectres d'étincelles. Paris, bei Hermann. 1901.

15) E. Haschek, Spektralanalytische Studien II. Wiener Ber. III, IIa. 232 bis 243. 1902.

16) F. Exner und E. Haschek, Wellenlängen-Tabellen zu spektralanalytischen Untersuchungen auf Grund der ultravioletten Funkenspektren der Elemente. Leipzig, bei Deudicke. 1904.

16a) Entsprechend: Bogenspektren der Elemente.

17) F. Steinhausen, Über „enhanced lines". Dissert. Bonn 1904. Zeitschr. f. wiss. Phot. **3.** 45—58. 1905.

18) J. E. Purvis, The influence of a strong magnetic field on the spark spectra. Proc. Cambridge Phil. Soc. **14.** 216—227. 1907 and ibid. **13.** 82—91. 1905.

19) A. Hagenbach und H. Konen, Atlas der Emissionsspektra. Jena, bei Fischer. 1905.

20) F. Exner und E. Haschek, Über Linienverschiebungen in den Spektren von Sn, Zn. Wiener Ber. **115.** IIa. 523—545. 1906.

21) Chr. Keller, Über die angebliche Verschiebung der Funkenlinien. Zeitschr. f. wiss. Phot. **4.** 209—232. 1906.

22) P. G. Nutting, Line structure. Astroph. Journ. **23.** 64—78 und 220 bis 232. 1906.

22a) L. Janicki, Beschaffenheit der Spektrallinien der Elemente. Ann. d. Phys. **4.** (29) 833—868. 1909.

23) Sir Norman Lokyer, Enhanced lines. Solare Physics Committee, 1906.

24) J. M. Eder und E. Valenta, Wellenlängenmessungen im roten Bezirke der Funkenspektra. Wiener Ber. **118.** IIa. 511—524, 1077—1100. 1909.

25) J. M. Eder und E. Valenta, Wellenlängenmessungen im sichtbaren Bezirk der Bogenspektren. Wiener Ber. **119.** IIa. 519—613. 1910.

26) J. M. Eder und E. Valenta, Atlas typischer Spektren. Wiener Akademie 1911. Wien bei Hölder.

27) F. Exner und E. Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck. Leipzig, bei Deudicke. 1911.

27a) Dr. Keivin Burns, Das Bogenspektrum des Eisens. Zeitschr. f. wiss. Phot. **12.** H. 6. 1913.

28) J. H. Pollock, Proc. Roy. Soc. Dublin (2) **13.** 202—218. 1912.

29) H. Oellers, Beschaffenheit und Verteilung der Emission im Bogenspektrum verschiedener Metalle. Zeitschr. f. wiss. Phot. **10.** 374—392, 393—432. 1912.

30) H. Hertenstein, Die Spektren der Lichtbogenaureole. Zeitschr. f. wiss. Phot. **11.** 60.

31) J. van Lohuizen, Bijdrage tot de kennis van Lijnenspectra. Dissert. Amsterdam 1912. Series in the spectra of tin and antimony. Proc. Acad. Amsterdam 1912. 31—45; Zeitschr. f. wiss. Phot.

32) J. E. Purvis, Proc. Phil. Soc. Cambridge. — Sir W. N. Hartley and H. W. Moss, Proc. Roy. Soc. A. **87.** 38—48. 1912. On the ultimate, lines and the quantities of the elements producing these lines in spectra of the oxyhydrogen flame and spark.

33) J. R. Rydberg, Recherches sur la constitution des spectres d'émission des éléments chimiques. Kon. Svensk Vetensk. Akad. **23.** 152. 1890.

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Leipzig-Marienhöhe.

**Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie**

XIII. Band. 1914. Heft 10.

## Ungleichmäßigkeiten der photographischen Entwicklung.

Von

H. Seemann.

Mit 2 Figuren im Text und 1 Tafel.

Die vielen Klagen über die Streifenbildung bei der photographischen Standentwicklung veranlaßten mich, meine früheren Untersuchungen auf diesem Gebiete,[1]) die mehr auf die Bildnisphotographie zugeschnitten waren, in exakter Weise fortzusetzen. Auch eine Mitteilung von Lüppo-Cramer,[2]) die erst erschien, als meine Arbeit schon gedruckt war, sollte nachgeprüft werden. Auf die andere Literatur, soweit sie mir zugänglich war, sei hier nur verwiesen.[3]) Bei Lüppo-Cramer findet sich eine kurze Inhaltsangabe.

Ich hatte damals gefunden, daß eine Straßenaufnahme, in der größere, homogen belichtete Felder fehlten, bei einer Belichtungsdauer, die etwa zwischen $^1/_4$- und 5fach normal variiert wurde, in stagnierendem Entwickler dann die besten Resultate ergab, wenn sie horizontal mit der Schicht nach unten gelegen hatte. Bei vertikaler Entwicklung war das obere Drittel der Platten immer merklich kräftiger entwickelt als das untere. Streifenbildung und Marmorierung war jedoch leicht zu vermeiden gewesen.

Letzteres hatte, wie sich ergab, darin seinen Grund, daß in dem Versuchsbilde keine homogen belichteten Felder von mehreren Quadratzentimetern Größe und geringerer Opazität (einfallende : durchfallende Lichtintensität der entwickelten Platte) — etwa zwischen 10 und 50 — vorkamen, auf denen man die Spuren benachbarter, stark belichteter Felder hätte wahrnehmen können, ferner auch darin, daß die Überbelichtung nicht in allen Fällen weit getrieben, und daß die meisten Versuche in engen Glaskästen gemacht worden war, die die Platte am Rande dicht umschlossen oder bei denen die Platte selbst eine der Wände bildete.

Die vorliegende Arbeit ergab ein weit ungünstigeres Resultat für die Brauchbarkeit der stagnierenden Entwicklung, insbesondere für wissenschaftliche Zwecke. Es zeigte sich, daß es selbst unter ganz normalen Bedingungen und vorschriftsmäßiger Behandlung nicht möglich war, gleichmäßig gedeckte oder streifenfreie Felder zu erhalten. Je größer die homogen belichteten Felder sind und je ruhiger der Entwickler in den Gefäßen steht, um so größer werden die Dichteunterschiede zwischen oben und unten und um so mehr machen sich die Streifen oder Marmorierungen bemerkbar. Am gleichmäßigsten werden größere Felder noch bei genau horizontaler Lage der Platte mit der Schicht nach oben bei Vermeidung jeder Strömung des Entwicklers, insbesondere Temperaturströmungen (Walter sche Planliegeentwicklung).[4]) Dafür sind aber hierbei schmale helle Säume bis zu 1 mm Breite rings um scharfbegrenzte dunkle Felder auf hellerem Grunde unvermeidlich und die Schwärzungskurve wird in ihrem oberen Teil beträchtlich herabgedrückt.

Bei vertikaler oder schräger Lage der Platte markieren sich alle dunklen Felder auf unter ihnen liegenden hellen durch hellere Streifen, die um so heller und länger sind, je dunkler und höher erstere sind. Selbst dünne Linien von der Breite von Spektrallinien und auch Sterne erzeugen, falls sie nur kräftig belichtet sind, auf den unter ihnen liegenden immer etwas belichteten Feldern helle Säume, unter Umständen von dem vielfachen ihrer eigenen Breite, die sehr leicht für Banden, bzw. Nebel gehalten werden könnten. Auch bei Röntgenogrammen kommen Fälle vor, wo die Projektion von scharf begrenzten, leicht durchlässigen Körperstellen auf den bei der Entwicklung unter ihnen liegenden schwächer belichteten Projektionen, z. B. von Knochen, eine in die Augen fallende streifenförmige Aufhellung bewirken, die zu falschen Diagnosen führen kann. Da die Röntgenplatte und der dazu gehörige Entwickler auf möglichst kontrastreiches Arbeiten berechnet sind, werden die Streifen verhältnismäßig stärker als auf den hier wiedergegebenen Platten. Auch die allgemeine Schwächung der unteren Plattenteile wird bei arbeitenden Platten und Entwicklern entsprechend größer. Da solches Material für wissenschaftliche Zwecke meistens in Anwendung kommt, ist die Gefahr der fehlerhaften Entwicklung hier noch näher liegend.

Es drängte sich nun die Frage auf, wieweit denn die gewöhnliche Entwicklung durch Schaukeln in offener Schale imstande ist, gleichmäßige Schwärzung zu bewirken. Die Versuche ergaben,

daß bei mäßigem Schaukeln in einer halbgefüllten Schale maximale Opazitätsunterschiede von über 50% innerhalb von Feldern der unten angegebenen Dimensionen vorkamen und daß diese Unterschiede selbst bei heftigstem kreisenden Schaukeln nicht unter 18% herabgedrückt werden konnten. Auch entstanden in allen Fällen helle Säume, die geeignet sind, nach Art der Machschen Streifen[5]) optische Täuschungen in bezug auf Helligkeitsunterschiede hervorzurufen. Die Schwärzungsunterschiede innerhalb der dunklen Felder waren gleichfalls sehr groß. Ob auch schmale Streifen von der Breite von Spektrallinien inhomogen entwickelt werden, wurde nur oberflächlich geprüft, da ein Mikrophotometer erst nach Abschluß der Arbeit zur Verfügung stand. Innerhalb von dunklen Streifen von $^1/_2$ mm Breite konnte in der Querrichtung auch bei nachlässiger Entwicklung kein wesentlicher Dichteunterschied gefunden werden, doch waren die hellen Säume zu beiden Seiten des Streifens innerhalb des grau geschwärzten Grundfeldes auch bei stark geschaukelter Platte deutlich nachweisbar. Es ergibt sich daraus, daß die hier beschriebenen Störungserscheinungen bei sehr kleinen Feldern nur in geringem Maße auftreten. Dennoch erscheint es zweifelhaft, ob es möglich ist, die graue Umgebung eines wenn auch sehr schmalen Streifens ganz fehlerlos zu entwickeln. Die gequellte Gelatineschicht ist ja schon dicker als solche Linien und eine seitliche Diffusion der Reduktionsprodukte innerhalb der Schicht ist unvermeidlich, auch wenn man den Entwickler mit einer Brause dauernd auf die Platte spritzt oder in einem geschlossenen Entwicklungsgefäß ununterbrochen stark schüttelt. Ein Ausweg wäre vielleicht der, einen so rapid wirkenden Entwickler zu verwenden, daß es zu einer Diffusion der Reduktionsprodukte gar nicht kommen kann, und ein saures Fixierbad, das den innerhalb der Schicht nachwirkenden Entwicklungsprozeß schnell unterbricht. Alle mikrophotometrischen Ausmessungen von Spektrallinien und ähnlichen kleinen Schwärzungsstreifen und Punkten dürfen daher nur mit Vorbehalt aufgenommen werden. Insbesondere dürfte z. B. die Ausmessung des Kern- und Halbschattens der Spaltbilder von Röntgenstrahlen, wie sie P. P. Koch[6]) an den Aufnahmen von Walter und Pohl[7]) vorgenommen hat, bei denen es sich um Streifen von ca. 0,001 bis 0,0003 mm handelt, kaum frei von den genannten Fehlern sein. Der E. G. Goldbergsche Trübungsfaktor[9]), d. i. die Steilheit des Verlaufes der Schwärzung, die sich über den Rand eines scharf begrenzt belichteten Feldes hinaus erstreckt infolge der

seitlichen Lichtzerstreuung innerhalb der optisch trüben Schicht, kompensiert allerdings den entgegengesetzten Verlauf des durch die Entwicklung verursachten Schwärzungsüberganges zum Teil. Wieweit die in der Schicht entstehenden Röntgensekundärstrahlen den geometrischen Spaltschatten vergrößert erscheinen lassen, ist bisher noch nicht bekannt.

## Ausführung der Versuche.

Als Material wurden „Agfa"-Isolarplatten 10:15 cm und Hauffs konzentrierter Glycin-Standentwickler in der vorgeschriebenen Verdünnung für normale Platten sowie normaler Glycinentwickler nach dem Rezept des „Agfa"-Handbuches für die gewöhnliche (Schalen-) Entwicklung benutzt. Es wurde bei allen Standentwicklungen $^1/_2$ Stunde entwickelt in einem gut temperierten Zimmer von 16 bis 20° C genau den Vorschriften entsprechend.

Zur Kontrolle des Einflusses der Isolarschicht wurden gewöhnliche Platten in gleicher Weise entwickelt, ohne daß wesentliche Unterschiede in der Streifenbildung zu bemerken gewesen wären, abgesehen von den Lichthöfen um die dunklen Felder.

Die Isolarschicht erfüllte ihren Zweck vollkommen. Nur auf der Platte Nr. 2, der einzigen Chromo-Isolarplatte, zeigen die unteren Streifen, die ca. 200 mal länger als das Grundfeld belichtet wurden, schwache Überstrahlungssäume. Die rote Isolarschicht absorbiert also Violett und Blau praktisch vollkommen, läßt aber Gelbgrün, für das die Chromoplatten noch ein zweites Empfindlichkeitsmaximum haben, etwas durch.

Der Grund, weshalb gerade die letztgenannte Platte auch die größten Schwärzungsdifferenzen aufweist, liegt daran, daß ihre lichtempfindliche Schicht beträchtlich härter arbeitet als die gewöhnlichen Isolarplatten.

Die Belichtung mittels Kerze wurde so gehalten, daß das Grundfeld im Gebiete des annähernd geradlinigen Verlaufes der Schwärzungskurve lag, die oberen drei Rechtecke in der Nähe der oberen Grenze dieses Bereiches und die unteren Rechtecke vollständig im Gebiete der Überbelichtung für den Fall der vorliegenden normalen Entwicklung. Das Grundfeld aller Platten wurde in ca. 3 m Abstand von einer gewöhnlichen Kerze 12 Sekunden belichtet, die unteren 8 Streifen ca. 200 mal stärker. Auf die Genauigkeit der Belichtungsverhältnisse wurde jedoch kein Wert gelegt, da die absolute und

relative Schwärzung der Felder in höchstem Maße von der Entwicklersorte, seinen chemischen Zusätzen, Konzentration, Temperatur und Alter, ferner auch etwas von der Emulsionsnummer der Platten (ob im Sommer oder Winter emulsioniert) abhängt. Bei Benutzung von Glycinlösungen jeder Art ist zu beachten, daß ihre entwickelnde Kraft schon nach wenigen Monaten merklich nachläßt, ohne daß Braunfärbung eintritt, sofern keine Luft zutreten konnte. Zuverlässig sind nur Lösungen von höchstens einigen Wochen Alter, die vor Oxydation von außen geschützt waren. Auch gegen die Beimischungen des Leitungswassers ist der Glycinentwickler empfindlich. Im vorliegenden Falle wurde kalkfreies Schwarzwaldwasser zum Verdünnen benutzt.

Sämtliche Platten wurden im Kopierrahmen belichtet, zuerst die dunklen Streifen hinter einer Papiermaske, die durch eine Glasscheibe gegen die Platte gepreßt wurde und dann die unbedeckte gesamte Platte unter Vermeidung seitlichen Nebenlichtes.

Zum Photometrieren wurde ein Martenssches Polarisationsphotometer, das einen Kreisfleck von 4 mm zu beobachten gestattet, benutzt. Es wurde in direkt durchfallendem Lichte gemessen, in dem die Kontraste einige Prozente höher erscheinen, als bei diffus durchfallendem Licht.

Die Trocknung der Platten geschah schnell und gleichmäßig.

## Beschreibung und Erklärung der Resultate.

Die Erscheinung der Streifenbildung und Marmorierung ist auf den 4 reproduzierten Platten ohne weiteres zu erkennen. Die zugehörigen Opazitäten der wichtigsten Plattenstellen sind aus den mit gleichen Nummern versehenen Textfiguren zu entnehmen.

Die Erklärung für die Streifenbildung bei der Standentwicklung habe ich in der eingangs genannten Arbeit schon gegeben: Der Entwickler reduziert bei seinem Eintritt in die Gelatineschicht das belichtete Bromsilber. Die entstehenden Reduktionsprodukte, insbesondere Bromverbindungen, bilden sich je nach der Dichte des belichteten Bromsilbers in mehr oder weniger großer Dichte, diffundieren in den Entwickler zurück und sinken dort infolge ihrer höheren Dichte als die des frischen Entwicklers in mehr oder weniger dichten Strömen an der Schicht entlang zu Boden. Auf diesen Bahnen verhindern sie schon in rein mechanischer Weise den Zutritt frischen Entwicklers an die Gelatine und hemmen dort

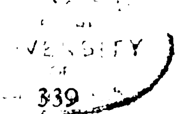
das zeitliche Fortschreiten des Entwicklungsprozesses mehr oder weniger. Außerdem wirken die entstandenen Bromide aber auch als solche chemisch verzögernd. (Vgl. Photogramme Nr. 1 und 2.)

Die Geschwindigkeit dieser Konzentrationsströmungen ist offenbar so groß, daß die Diffusionsgeschwindigkeit, mit der sich die Reduktionssalze in den Entwickler hinein ausbreiten, daneben fast verschwindet, denn die Dicke dieser Ströme ist eine außerordentlich geringe. Letzteres wurde dadurch erhärtet, daß homogen belichtete Platten (ohne Streifenfelder) parallel neben den Versuchsplatten in Abständen bis zu 2 mm hinab aufgestellt und gleichzeitig mitentwickelt wurden. Wie auch die Lage der Paare im Entwickler sein mochte, eine Beeinflussung der homogenen Platte durch die Ströme längs der Versuchsplatte konnte nicht nachgewiesen werden. Größere Annäherung der beiden Platten beschränkte die wirksame Entwicklermenge zu sehr und veränderte den Strömungsvorgang an der Versuchsplatte. Jedenfalls kriechen die Ströme außerordentlich dicht an der Schicht entlang und setzen den übrigen Entwickler dabei nicht merklich in Bewegung.

Ja selbst wenn die Platte unter 30° und darüber gegen die Vertikale geneigt mit der Schicht nach unten entwickelt wird, trennen sich die Reduktionsprodukte nicht sofort nach ihrem Austritt aus der Schicht von der Oberfläche, sondern sie kriechen erst lange Strecken an der Schicht entlang, während sie sich langsam in Schlieren ablösen, völlig analog den Temperaturströmungen von Flüssigkeiten an den Wänden eines von außen gekühlten Gefäßes. Sie nehmen nach dem Prinzip der kleinsten Wirkung den Weg und die Form an, in der sie am wenigsten Widerstand zu überwinden haben. Auf dem direkten vertikalen Wege würden sie, da ihnen die Führung durch die feste Platte fehlt, durch Wirbelbildung ihre Oberfläche vergrößern und komplizieren, dadurch mehr ruhende Flüssigkeit in Bewegung setzen und so mehr Arbeit leisten.

Aus der Schärfe der Schlierenspuren, die auf der Platte Nr. 2 sehr auffallen, kann man schließen, daß sich die recht komplizierten Strömungsformen völlig stationär einstellen. Auch auf der horizontal mit der Schicht nach unten entwickelten Platte Nr. 3 kann die Marmorierung nur durch schlierenförmiges Absinken in stationären Einzelströmen erklärt werden.

Gegenüber diesen Befunden verliert die Erklärung Lüppo-Cramers (l. c.) für die von ihm beobachtete weit undeutlichere Streifenbildung, daß es sich um eine Diffusion innerhalb der Gela-



tine handle (einem Wege mit enormem Widerstande gegenüber der freien Strömung durch den Entwickler), alle Wahrscheinlichkeit.

Die von vertikal und steil stehenden Platten abgesunkenen Lösungen bleiben ziemlich ungemischt auf dem Boden der Entwicklungsgefäße liegen, wenn diese nicht zu breit sind und die Platten auf dem Boden stehen, so daß die Strömungen ununterbrochene Führung längs festen, glatten Körpern haben. In schmalen Küvetten kann man die verzögernde Wirkung dieser Bodenschicht auf die Entwicklung des unteren Randes einer auf dem Boden stehenden Platte sehr deutlich sehen. Die vielen Einzelströme einer horizontal mit der Schicht nach unten entwickelten Platte mischen sich unter Wirbelbildung so innig mit dem frischen Entwickler, daß es zu einer Überlagerung verschiedener Schichten nicht kommt. Der Vorgang ist völlig analog (nur in umgekehrter Richtung) dem schlierenförmigen Aufsteigen des am Boden eines Kochgefäßes erhitzten Wassers, höchstens mit dem Unterschiede, daß er sich völlig stationär einstellt, daß also die Strömungen auch bei genau homogen belichteten Platten die anfänglich ausgebildeten Ausgangsstellen beibehalten. Es liegt also ein Prozeß mit Selbstbeschleunigung vor, die sich asymptotisch einem Maximalwert nähert. Die an irgend einer Stelle durch eine noch so geringe Ungleichförmigkeit der Belichtung oder der Schicht einmal entstandene schwache Beschleunigung der Strömung beschleunigt nun ihrerseits den Entwicklungsprozeß und dieser wieder die Strömung durch schnellere Nachlieferung von Salzen.

Die 4 Photogramme sind direkt nach den Originalnegativen hergestellt, jedoch sind die Schwärzungsdifferenzen im Interesse an der Deutlichkeit künstlich erhöht, wie es bei Spektrumphotographie u. ä. auch geschieht. Die Schwärzungsunterschiede der dunklen Rechtecke wiederzugeben, ist dann nicht möglich. Es sei aber nochmals betont, daß sämtliche Originalplatten nicht auf Kontrasterhöhung behandelt wurden, sondern normal im Sinne der Bildnisphotographie, was für die meisten physikalischen Zwecke als kontrastarm gelten muß.

Die Opazität oder Undurchlässigkeit einer geschwärzten Platte ist der unechte Bruch $\frac{\text{auffallendes Licht}}{\text{durchfallendes Licht}}$. Sie ist innerhalb eines von der Plattensorte und im höchsten Grade von der Entwicklungsart abhängigen Intervalles annähernd proportional der bei der Belichtung zugeführten Lichtmenge, wenn die Lichtintensität nicht sehr

klein ist. Drei übereinandergelegte, gleichstark geschwärzte Schichten, die dem Auge dreimal dunkler erscheinen, haben die neunfache Opazität. Letztere ist also proportional dem Quadrate der Schichtdicke einer homogen geschwärzten Schicht. Man operiert daher in vielen Fällen vorteilhafter mit dem dekadischen Logarithmus der Opazität, den man Schwärzung oder Extinktion oder Dichtigkeit genannt hat. Die Opazität der Negative in der Bildnisphotographie liegt zwischen 1 und etwa 1000, die Schwärzung also zwischen 0 und 3. Die Opazität 10 erscheint dem Auge auf einem normalen Landschaftsnegativ mittelgrau, die Opazität 100 schon schwarz.

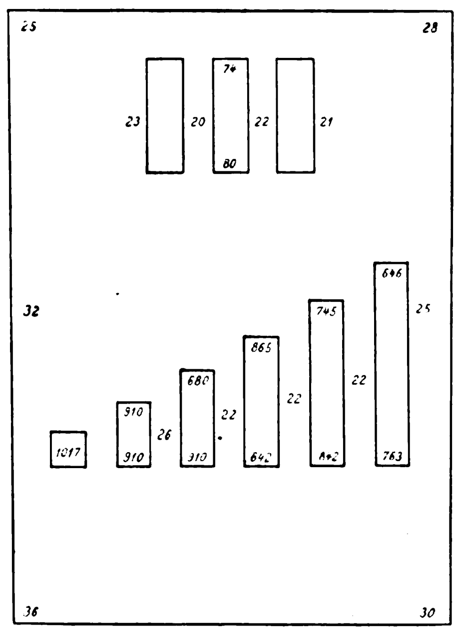
Eine Gruppe von Platten wurde einzeln in einem mit 3 l Entwickler gefüllten Tontrog entwickelt, wobei sie von schmalen Zinkblechstreifen gehalten wurden, die in 1,5 cm Abstand rings um den Rand herumliefen und nur die Ecken berührten. Sie schwebten also 1,5 cm über dem Boden. Die senkrecht entwickelten Platten zeigen keinen wesentlichen Unterschied von der Platte Nr. 1. Figur 1 und Nr. 1 zeigen eine Platte der genannten Gruppe, die unter ca. 30° gegen die Vertikale geneigt mit der Schicht nach oben entwickelt worden ist. Die Belichtungszeiten des Grundfeldes zu den oberen drei und den unteren acht Rechtecken verhielten sich wie 1 : 4 : 200. Die maximale Opazitätsdifferenz $F$ auf dem Grundfelde beträgt $F = 53\,\%$ der maximalen Opazität, die entsprechende Differenz $S$ auf dem längsten Rechteck $S = 43\,\%$. Es ist deutlich sichtbar, daß die nur viermal länger als ihre Umgebung belichteten oberen Rechtecke auch kräftige Ströme entsenden und daß die Strömungsspuren der unteren Rechtecke um so länger und deutlicher sind, je länger die Felder sind.

Von einer mit der Schicht nach unten unter ca. 30° geneigt entwickelten Platte, die nicht abgebildet ist, gilt dasselbe wie von Nr. 1. Nur ist hier deutlich das teilweise Ablösen der Ströme sichtbar. Es ist $F = 62\,\%$ und $S = 65\,\%$. Die Belichtungen verhielten sich wie 1 : 25 : 200.

Photogramm Nr. 2 stellt die bereits erwähnte Chromo-Isolarplatte dar, die in einer Zinkblechküvette schräg wie die letztgenannte Platte entwickelt ist. Das Zink und die Form der Küvette übte auf die Erscheinungen weder qualitativ noch quantitativ einen wesentlichen Einfluß aus, wie aus einer großen Zahl nicht reproduzierter Versuche hervorging. Die Spuren der schlierenförmig sich ablösenden Ströme sind hier außerordentlich klar, ebenso die Lichthöfe der unteren Rechtecke. Auch das Übertreten der Ströme über die

Seitenränder sämtlicher Rechtecke ist trotz der Lichthöfe leicht kenntlich an den hellen Säumen, die auf Nr. 1 nicht so deutlich hervortritt. $S = 76\,^0/_0$. Belichtung 1 : 25 : 200.

Die senkrecht entwickelten Platten, die in 2 mm Abstand von einer homogen belichteten zweiten Platte Schicht gegen Schicht gestanden hatten, unterscheiden sich nur dadurch von anderen senkrecht entwickelten Platten, daß die herabsinkenden Ströme etwas seitlich abgelenkt worden sind. $F = 50\,^0/_0$, $S = 40\,^0/_0$. Belichtung

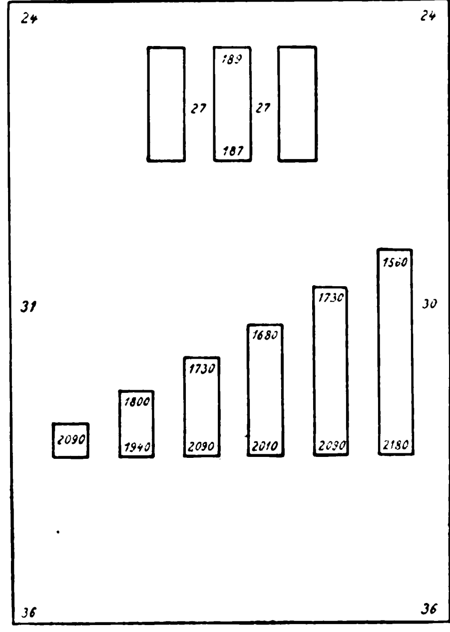



Figur 2.

1 : 25 : 200. Auf den Parallelplatten, die ebenso lange belichtet worden waren wie das Grundfeld der Versuchsplatten, war keinerlei Streifenbildung nachweisbar.

Figur 2 zeigt die Opazitäten einer horizontal mit der Schicht nach oben in offener Schale in stagnierendem Entwickler hervorgerufenen Platte. Man sieht, daß die Schwärzung im allgemeinen weit gleichmäßiger ist als bei den bisher beschriebenen Platten, aber noch nicht entfernt einen Anspruch auf Brauchbarkeit für wissenschaftliche Zwecke machen kann. Auch ist die Schwärzungscharakteristik, obwohl im Verhältnis 1 : 6 : 200 belichtet wurde, in ihrem oberen Verlauf stark gedrückt. Die Schwärzungsdifferenzen zwischen

den verschieden belichteten Feldern als ganze sind erheblich geringer als bei allen anderen Platten. Diese Planliegeentwicklung, wie sie R. Walter[4]) nennt, arbeitet also sehr weich. Die aus der Schicht herausdiffundierten Reduktionsprodukte können nicht abfließen, sondern lagern als isolierende und chemisch verzögernde Schicht auf den Stellen, an denen sie am meisten erzeugt werden, am dichtesten. Aus den hellen, schmalen Säumen um die Rechtecke herum kann man schließen, daß diese Schichten sogar in be-




Figur 3.

nachbarte dünnere Schichten übertreten, falls es sich in diesem speziellen Falle nicht außerdem noch um eine seitliche Diffusion innerhalb der Gelatine handelt. $F = 43\,\%$, $S = 15\,\%$. Die maximale Differenz auf allen 8 Streifen der unteren Gruppe beträgt $36\,\%$.

Figur 3 enthält die Opazitäten einer horizontal mit der Schicht nach unten in stagnierendem Entwickler hervorgerufenen Platte, unterhalb deren sich parallel in 2 mm Abstand zwecks Nachweises der absinkenden Ströme eine homogen belichtete Platte befand. Obwohl die Belichtung und alle anderen Faktoren genau wie bei der soeben beschriebenen Platte Figur 2 eingehalten wurden, sind die Opazitaten teilweise dreimal so groß. Auch sind die maximalen

Differenzen geringer als auf den nicht horizontal entwickelten Platten. Es ist $F = 34\,^0/_0$ und $S = 34\,^0/_0$. Die Parallelplatte wies keinerlei Spuren einzelner von oben auftreffender Ströme auf. Die Opazitäten des Randes betrugen 22; 22; 22; 19; 20; 19, die der Mitte 16, also $F = 25\,^0/_0$. Die von der oberen Platte absinkenden Ströme scheinen sich demnach, wenn sie sich erst einmal von der Platte getrennt haben, schnell mit der übrigen Flüssigkeit zu mischen, wofür man wohl Wirbelbildung als Erklärung heranziehen muß.

Photogramm Nr. 3 ist die Kopie einer homogen belichteten Platte, die mit der Schicht nach unten horizontal 1 cm über dem Boden einer offenen Schale entwickelt worden ist. Sie ist stark marmoriert von den sich schlierenförmig ablösenden Strömen der Reduktionsprodukte. Die Schärfe und der Kontrast der Marmorierung ist ein Beweis, daß die im Anfang sich bildenden Einzelströmungen sich für die ganze Dauer der Entwicklung stabil einstellen, wie auch Nr. 2 beweist. Selbst ein kurzes Unterbrechen der Entwicklung durch Herausnehmen ändert die Marmorierung qualitativ nicht.

Nr. 4 und Figur 4 geben eine in einer halbgefüllten Schale von der Größe der Platte durch mäßiges Schaukeln in der üblichen Weise in gewöhnlichem Glycinentwickler hervorgerufenen Platte 10:15 cm wieder. Die Quadrate und Streifen sind 200 mal länger belichtet als das Feld. Es ist $F = 53\,^0/_0$. Bei weiteren Platten dieser Art wurde die Entwicklermenge verringert und das Schaukeln verstärkt. Jedoch selbst bei wenig Entwickler und stärkstem Schütteln konnte $F$ nicht unter $18\,^0/_0$ gebracht werden.

Ungleichmäßigkeiten im Plattenguß sind in ganz verschwindendem Maße mit im Spiele, wie die Übereinstimmung der einzelnen Platten ergab. Die „Agfa"-Platten werden maschinell mit größter Gleichmäßigkeit in großen Formaten gegossen und dann in kleine zerschnitten. Auch die Ungleichmäßigkeiten, die durch die Trocknung entstehen, sind klein gegen die durch die Entwicklung hervorgerufenen.

### Anwendung auf die Praxis der Bildnisphotographie.[8])

Die Bedeutung der beschriebenen Strömungserscheinungen für die Bildnisphotographie ist gering. Auf den ca. 300 Landschafts- und Porträtplatten 10:15, die ich mit Standentwicklung in schmalen Zinkküvetten für je eine Platte entwickelt habe, sind nur auf verschwindend wenigen merkliche Störungen durch Streifenbildung aufgetreten, und

zwar ausschließlich auf Landschaftsplatten mit Schneefeldern oder wolkenlosem, mit Gelbscheibe belichtetem Himmel oder beiden Faktoren, wenn die Schneeflächen oder andere weiße Felder oberhalb des gleichmäßig grau entwickelten Himmels oder anderer ähnlich geschwärzter homogener Felder entwickelt worden waren.

Bedingung für deutliche Streifenbildung ist, daß die Platten nebst Gefäß während des ganzen Entwicklungsprozesses ruhig stehen. Nimmt man die Platten öfter heraus, so ist die Streifenbildung schon wesentlich schwächer. Stellt man die Platte abwechselnd auf entgegengesetzte Kanten, so sind die Störungen für alle Fälle der Bildnispraxis so gut wie beseitigt. Praktisch vollkommen behoben für den genannten Zweck sind sie aber erst dann, wenn man die Platten in regelmäßigen Zeitabständen auf alle 4 Kanten stellt oder noch besser den ganzen Entwicklungskasten auf alle 6 Flächen. Freilich büßt die Standentwicklung dadurch einen großen Teil ihrer Bequemlichkeit ein, ja eigentlich alle. Man könnte sich vielleicht noch durch Uhrwerke, die das Entwicklungsgefäß innerhalb der normalen Entwicklungszeit ein oder mehrmal herumdrehen, helfen.

Landschaften mit stark belichteten großen Feldern (Himmel auf nicht orthochromatischen Platten) entwickelt man am besten so, daß diese Felder unten zu stehen kommen. Orthochromatisch belichteten Himmel ohne Wolken läßt man am besten oben stehen. Wichtiger noch als das Umstülpen ist es, daß der Plattenrand ringsherum möglichst frei im Entwickler steht. Jede von rückwärts bis auf die Schichtseite herumgreifende Blechnase oder Leiste, die zum Festhalten der Platten dient, markiert sich, falls sie dicht auf der Schicht liegt, deutlich und die jeweils an der Oberkante liegenden hinterlassen je nach Größe einen mehr oder weniger deutlichen und langen Streifen und Säume. Sie wirken als Hindernisse für die Strömung und damit für die Zufuhr frischen Entwicklers von oben. Die Streifen sind daher meistens heller als die Umgebung. Die Vorsprünge an den Seiten und an den untenstehenden Plattenkanten bewirken aber auch oft dunklere Flecke und Streifen infolge Wirbelbildung und Stauung, wie ich in meinen eingangs genannten Untersuchungen gezeigt habe.

Die Plattenrahmen für Entwicklungskästen sind am besten so zu konstruieren, daß nur die äußersten Ecken der Platten in kleine Ausschnitte oder Vorsprünge zu sitzen kommen und zwischen Plattenrand und Rahmenrand, bzw. Kastenwand in Richtung der Platten-

ebene ein 1—3 cm freier, mit Entwickler gefüllter Zwischenraum ist, je nach der Größe der Platten. Die Höhe der Entwicklerschicht vor der Platte braucht nur wenige Millimeter zu betragen. Ich verwende seit Jahren Zinkküvetten von einer Gesamttiefe von 6 mm, die sich sehr gut bewährt haben und sehr sparsam im Verbrauch sind. Sie müssen jedoch sauber und außer Gebrauch trocken gehalten und vor Gebrauch ausgespült werden. Der stark konzentrierte Glycinentwickler darf nicht zuerst hineingegossen werden, sondern ist vorher zu verdünnen. Das Temperieren geschieht sehr bequem und schnell durch Anwärmen mit den Händen oder Abkühlen im Wasserleitungsstrahl.

Die beschriebenen Störungserscheinungen sind im allgemeinen, wie sich aus ihren Ursachen ergibt, um so schwächer, je kleiner die Platten sind. Auf $4^1/_2$:6-Platten, bei denen die Größe der Teilfelder immer klein ist, ist eine Streifenbildung auch bei ununterbrochenem Stehen auf einer Kante kaum nachweisbar. Bei horizontaler Entwicklung mit der Schicht nach unten in stagnierendem Entwickler ist die Gleichmäßigkeit und Klarheit der Entwicklung sogar eine ganz vorzügliche. Diese Methode kann daher auch wegen ihrer Einfachheit sehr empfohlen werden.

Auf großen Formaten tritt außer den Streifen hauptsächlich die allgemeine Schwächung der unteren Plattenhälfte hervor, z. B. bei Röntgenplatten und Filmstreifen, die hängend in meterhohen Trögen entwickelt werden. Besser ist es, letztere locker spiralig aufgerollt in umstülpbaren Büchsen zu entwickeln, wobei sie aber mindestens 1 cm über dem Boden, etwa auf radialen Blechrippen oder Drähten, stehen müssen.

Die Rollfilmentwicklungsdosen der Kodaks-Gesellschaft, in denen der Film auf ein besonderes Zelluloidband mit dickem Gummirand aufgewickelt wird, ermöglichen es, alle genannten Bedingungen in ausreichender Weise erfüllen zu können. Die zylindrischen Dosen sind sogar in hervorragender Weise geeignet, während der Entwicklung durch ein Uhrwerk langsam um ihre horizontal gestellte Achse gedreht zu werden. Das Werk einer gewöhnlichen Weckuhr genügt vollkommen dazu.

Alles in allem ergibt sich, daß die Entwicklung in stagnierendem Entwickler für die Bildnisphotographie unter Beachtung von ebensoviel Vorsichtsmaßregeln zu verwenden ist, wie sie bei der gewöhnlichen Schalenentwicklung unsicher belichteter Platten auch

berücksichtigt werden müssen, falls die Negative höchsten Ansprüchen genügen sollen.

Daß die Schalenentwicklung für die Bildnisphotographie und auch für die diagnostische wissenschaftliche Photographie vollkommen ausreicht, braucht nicht erwähnt zu werden.

## Zusammenfassung der Resultate.

Der Entwicklungsvorgang einer photographischen Platte in stagnierendem Entwickler wird stark beeinflußt von lokalen Konzentrationsströmungen der aus der lichtempfindlichen Schicht austretenden Reduktionsprodukte, die zu Streifenbildung Veranlassung geben. Bei senkrecht oder schräg mit der Schicht nach oben entwickelten Platten kriechen diese Ströme sehr dicht an der Schicht entlang zu Boden, ohne sich stark zu deformieren oder aufzulösen. Bei horizontal oder schräg mit der Schicht nach oben entwickelten Platten lösen sie sich schlierenförmig von der Schicht ab und verteilen sich dann sehr schnell im Entwickler. Auf horizontal mit der Schicht nach oben entwickelten Platten (Walter sche Planliegeentwicklung) bleiben die herausdiffundierten Reduktionsprodukte in hochkonzentrierten Schichten auf der Platte liegen und verlangsamen die Entwicklung an den Stellen am meisten, an denen am meisten Bromsilber zu reduzieren ist.

Die erforderliche Tiefe der Entwicklerschicht vor einer Platte braucht demnach nur wenige Millimeter zu betragen, falls über den Rand der Platte hinaus noch genügend Raum zum Abströmen vorhanden ist.

Die Entwicklung ohne künstliche Bewegung des Entwicklers ist infolge der genannten Strömungen nicht nur zur genaueren quantitativen Schwärzung völlig unbrauchbar, selbst bei Beachtung aller Vorsichtsmaßregeln, sondern auch für diagnostische Zwecke.

Selbst für die Zwecke der Bildnisphotographie, insbesondere Landschaften mit Schneefeldern und wolkenlosem Himmel, wirkt sie nur unter erschwerenden Vorsichtsmaßregeln (zeitweises Wechseln der Stellung) ausreichend gleichmäßig.

Große Platten oder vertikal hängende Filmstreifen begünstigen die Streifenbildung und die allgemeine Schwächung der unteren Felder beträchtlich mehr als kleine.

Vorsprünge an den Plattenrahmen, die über die Ebene der

Schicht hinausragen, verursachen durch Hemmung der lokalen Strömungen und Wirbelbildung Streifen und Flecke.

Auch die gewöhnliche Schalenentwicklung mit normalem Entwickler dürfte zu Zwecken der Photometrierung feiner Belichtungsdifferenzen (Helligkeitsverteilung in Spektrallinien, Beugungs- und Interferenzstreifen) nicht in allen Fällen genügend zuverlässig sein, wie stark man auch schaukeln möge. Sehr schmale Entwicklungssäume an scharfbegrenzten Feldern von großer Schwärzungsdifferenz gegen die graue Umgebung scheinen unvermeidlich. Dabei verdeckt der durch die optische Trübung verursachte Schwärzungsverlauf[9]) diese Säume zum Teil.

Herrn Prof. W. Kaufmann spreche ich meinen verbindlichsten Dank für die Überlassung eines Martensschen Schwärzungsmessers aus. Desgleichen bin ich Herrn A. Riesterer für die Überlassung von Arbeitsräumen und Material zu Dank verpflichtet.

## Anmerkungen.

1) Photograph. Rundschau 1909. 104.

2) Ibid. 53.

3) Ibid. 1906. 247. 249. 268. 276; Eders Jahrbuch der Phot. 1899. 255; 1900. 143; 1901 205; 1902. 87.

4) R. Walter, Photograph. Rundschau 1906. 247 u. 267; 1907. 85.

5) Mach, Wiener Sitzungsber. **52.** 308—322. 1867. C. H. Wind, Akademie te Amsterdam, Naturkund. Afd. 1898/99. I.

6) P. P. Koch, Ann. d. Phys. **38.** 507. 1912.

7) B. Walter u. Pohl, Ann. d. Phys. **29.** 331—354. 1909.

8) Unter Bildnisphotographie soll hier die Praxis des Berufsphotographen verstanden sein, im Gegensatz zu wissenschaftlicher Photographie, nicht speziell Portraitphotographie.

9) E. G. Goldberg, Diese Zeitschr. **12.** 77. 1913.

# Messungen im Bogen- und Funkenspektrum des Strontiums nach den internationalen Normalen.

Von

Heinrich Hampe.

## Einleitung.

Es ist vor allem Aufgabe der Spektroskopie, die Wellenlängen eines jeden Elementes genau zu bestimmen, d. h. sein Spektrum festzulegen. Wenn aber nach der Schätzung von H. Kayser in dem Gebiete von $\lambda = 7000$ bis $\lambda = 2000$ A.-E. bereits 120000 Linien gemessen worden sind — d. h. pro Angströmeinheit durchschnittlich 24 und in den linienreichsten Teilen des Spektrums noch mehr —, so setzt eine sichere Charakterisierung einer jeden Spektrallinie dreierlei voraus:

1. daß das bei den relativen Messungen der Linien zu Grunde gelegte Vergleichsspektrum so genau wie möglich bestimmt ist,

2. daß alle Beobachter dieselben Linien des Vergleichsspektrums als Normalen benutzen,

3. daß jede Linie mindestens in dem Hundertstel genau fixiert sein muß; denn sonst kann man bei der spektroskopischen Untersuchung einer linienreichen chemischen Verbindung nicht mit Gewißheit, sondern nur mit größerer oder geringerer Wahrscheinlichkeit den Ursprung einer Linie angeben.

Die beiden ersten Voraussetzungen sind auf dem internationalen Kongreß für Sonnenforschung 1910 erfüllt worden durch den Beschluß, allen Messungen ein neues, auf die rote Cd-Linie gegründetes System von Eisennormalen zu Grunde zu legen. Für das Gebiet von 6945—4282 liegt es schon vor; man hat die Mittel aus den von Fabry und Buisson, Eversheim, Pfund durch Interferenzmethoden

erhaltenen Werten genommen; diese dürften einen mittleren Fehler von 0,002—0,003 A.-E. nicht übersteigen.

Nach dieser für den weiteren Fortschritt der Spektroskopie ungemein wichtigen Einführung der neuen internationalen Skala ist es nun die nächste Aufgabe dieser Disziplin, die Linien aller Elemente nach diesen neuen Normalen neu zu messen. Man könnte zwar auch die alten Angaben auf die neuen Normalen umrechnen. Aber die Genauigkeit würde selbst bei guten Werten weit hinter der erstrebten zurückbleiben. Die sich deshalb als notwendig erweisenden neuen Messungen sollen gleichzeitig die Wellenlängen bis auf die dritte Dezimale angeben.

Der Verfasser hat es sich deshalb zur Aufgabe gemacht, die Linien des Bogen- und Funkenspektrums des Strontiums neu zu bestimmen. Die Arbeit ist entstanden auf gütige Anregung des Herrn Geheimen Regierungsrat Prof. Dr. Kayser und ist ausgeführt worden im Physikalischen Institut der Bonner Universität.

## Frühere Messungen.

Das Strontium ist schon oft der Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen. Seine Linien sind außer im Bogen und Funken, in Flammen, im Wehneltunterbrecher und im elektrischen Ofen beobachtet worden. Kayser[1]) gibt in seinem Handbuch der Spektroskopie eine geschichtliche Übersicht der Untersuchungen bis zum Beginn des Jahres 1912. Ich will deshalb nur einen kurzen Überblick über die späteren Arbeiten geben.

Es liegt noch eine Arbeit aus dem Jahre 1909 vor. R. Rossi[2]) untersucht den Einfluß des Druckes auf die Bandenspektra der Fluoride der alkalischen Erden und stellt hauptsächlich auch Beobachtungen darüber an, ob die Vermutung Humphreys richtig ist, nach der diejenigen Linien, die einen großen Zeemaneffekt zeigen, auch eine große Druckverschiebung aufweisen sollen. Namentlich die Untersuchungen der Banden des Strontiumfluorids ergeben das Resultat, daß keine Beziehung zwischen den beiden Effekten zu bestehen scheint. Rossi weist ferner darauf hin, daß die Druckverschiebungen, die er bei den Banden erhält, von derselben Größenordnung sind, wie sie von anderen Beobachtern bei den Linienspektren entdeckt worden sind.

Weiter ist noch eine Arbeit aus dem Jahre 1910 zu nennen.





Sie stammt von M. A. Dufour[3]) und bringt neue Messungen über den Zeemaneffekt. Zu seinen Untersuchungen verwendet der Verfasser ebenfalls das Fluoridspektrum des Strontiums und findet, daß die Aufspaltung der Bandenkanten proportional der Intensität des Feldes ist.

Ritz und Saunders haben durch theoretische Überlegungen darauf hingewiesen, daß in der Schumannregion noch bestimmte Linien der alkalischen Erden liegen müßten. Th. Leyman[4]) hat daraufhin die Spektra dieser Elementengruppe in der Schumannregion untersucht, und hat beim Strontium zwei neue Paare mit der Schwingungsdifferenz 285 und eins mit 800 gefunden. Es sind die Linien 1769, 1778, 1613, 1620 und 1847, 1821.

J. Stark und G. Wendt[5]) untersuchen den Zusammenhang der Bandenemission fester Metallverbindungen durch Kanalstrahlen mit dem Stoß dieser Strahlen. Sie finden, daß diese Emission sich augenscheinlich erst oberhalb eines bestimmten Schwellenwertes der kinetischen Energie der Kanalstrahlen einstellt. Dieser Wert beträgt bei $SrCl_2$ rund 500 Volt.

W. Hartley und H. Moss[6]) bringen einige Elemente, darunter Strontium in die Knallgasflamme, suchen die Restlinie auf und beobachten bei der jeweiligen Materie das Minimum, das nötig ist, die betreffende Linie zu erzeugen. Sie finden bei Strontium $\lambda = 460\,8$, hervorgerufen durch 0,01 mg. — Diese Linie heißt bekanntlich Flammenlinie, da sie besonders charakteristisch für die Flamme ist.

H. Lehmann[7]) stellt phosphorophotographische Untersuchungen ultraroter Emissionsspektra an. Diese Methode gibt in einfacher und schneller Weise einen objektiven Überblick über einen großen Teil des ultraroten Spektrums. Lehmann erhält nach diesem Verfahren die Linien 7069,9; 7312,4; 7621,4; 7671,8 und 10318,5 in A.-E.

Endlich ist noch eine Arbeit von H. Starke und I. Herweg[8]) zu nennen. Die Verfasser beobachteten den Righieffekt an der blauen Strontiumlinie.

## Eigene Untersuchungen, Apparate und Methode.

Meine photographischen Aufnahmen machte ich an einem Rowlandschen Konkavgitter von 6,34 m Krümmungsradius und 20000 Furchen pro inch (= 2,54 cm). Über das Prinzip der Gitter-

aufstellung([9, 10]) berichtet Kayser in seinem Handbuch der Spektroskopie, Bd. I ausführlich. Gitter und Kassette stehen sich auf zwei Steinblöcken in einer Entfernung von 6,34 m gegenüber. Das Spaltrohr ist auf einer kreisförmig gebogenen Schiene verschiebbar, deren Zentrum in der Mitte des Abstandes von Gitter und Kassette liegt. Ihr Durchmesser ist also gleich dem Krümmungsradius des Gitters. Als Material benutzte ich chemisch reines Strontiumnitrat, das ich von E. Merck in Darmstadt bezog. Hiermit füllte ich einen soweit wie möglich ausgebohrten Kohlenstab von 20 mm Dicke und spannte ihn als positive Elektrode in die Bogenlampe. Versuche mit Kohle von 14 mm Dicke, deren Gebrauch im Bonner Physikalischen Institut sonst allgemein üblich ist, zeigten bei mir keine günstigen Resultate. Ein Teil des Strontiumnitrates setzte sich dauernd als feste Kruste auf dem oberen Rande der Kohle ab und brachte als Nichtleiter das Bogenlicht zum Erlöschen, so daß ich nicht 5 Minuten hintereinander dauernd belichten konnte. Die breiteren Kohlenstäbe erlaubten eine größere Stromstärke zu nehmen, ohne fürchten zu müssen, daß die Kohle zu schnell wegbrannte. Dadurch und durch die stärkere Füllung wurde einmal die Belichtungszeit erheblich herabgedrückt, andererseits war der Flammenbogen zu intensiv, um durch das sich absetzende feste Strontiumnitrat ausgelöscht zu werden. Vielmehr wurde es bei dieser Versuchsanordnung immer wieder durch die Flamme zum Schmelzen gebracht. Ich erhielt auf diese Weise ein ganz außergewöhnlich helles, rotes Licht, das mir in dem empfindlichen Teil des Spektrums sämtliche Linien schon nach wenigen Minuten gab. Es treten dabei wegen der kürzeren Dauer der Belichtung nicht mehr Kohlenlinien auf als bei dünnen Kohlen. — Als negative Elektrode verwandte ich ungefüllte homogene Kohle von 14 mm Dicke. Die Bogenlampe stand in einem Blechkasten, der nach oben trichterförmig auslief und durch Röhren mit einem Ventilator verbunden war. Sie war bequem mit der Hand zu regulieren und gestattete eine seitliche und vertikale Verschiebung der Elektroden, so daß sie genau auf den Spalt eingestellt werden konnte. Je nach der Lage des Spektrums wurde mit Hilfe einer Glas- oder Quarzlinse ein scharfes Bild des Bogens auf dem Spalt entworfen. Was die Gesamtjustierung und die Einzeljustierung des Spaltes bei den verschiedenen Stellungen des Spaltrohres auf der Schiene anbetrifft, so verweise ich hierbei auf den schon erwähnten Bd. I von Kaysers Handbuch.

Funken- und Bogenaufnahmen wurden in gleicher Weise ge-

macht. Nur verwandte ich beim Funken als positive Elektrode auch Kohle von 14 mm Dicke, um das durch die breitere Kohle bedingte lästige Hin- und Herflackern des Funkenlichtes zu verhindern und auch ohne dauernde Regulierung das Licht auf dem Spalt zu halten. Als Stromquelle benutzte ich beim Bogen städtischen Strom von 220 Volt Spannung und 6—9 Ampère Intensität. Beim Funken wurde der Strom von einer Wechselstrommaschine geliefert; ein Resonanzinduktor transformierte seine ursprüngliche Spannung von 160 Volt auf etwa 30000 Volt. Die Sekundärspule des Induktors war mit einer Batterie von 6 Leydener Flaschen verbunden, an die eine Sicherheitsfunkenstrecke angeschlossen war. Die Intensität des Primärstromes betrug hier 8—11 Ampère.

Die Aufnahmen wurden in der Weise gemacht, daß ich zunächst das Strontiumspektrum auf die Platte warf, dann die Platte in geeigneter Weise halb abblendete und auf die andere Hälfte das Spektrum des zum Vergleich dienenden Eisens brachte.

Als Platten benutzte ich Dr. Schleussners Gelatineemulsionsplatten und orthochromatische Platten. Die letzteren sind bis $\lambda = 5800$ A.-E. brauchbar. Für den langwelligeren Teil sensibilisierte ich mir die Platten selbst nach dem vorzüglichen Rezept [11]) des Herrn Dr. Keivin Burns von der Lick-Sternwarte in Kalifornien. Von demselben Herrn stammt auch ein Rezept zur Sensibilisierung grünempfindlicher Platten. Auch dieses Rezept probierte ich, konnte jedoch in der Empfindlichkeit keinen Unterschied mit den orthochromatischen Platten von Dr. Schleussner entdecken. Da letztere vor den präparierten den Vorzug haben, daß sie sich bei rotem Licht entwickeln lassen, so beschränkte ich mich ausschließlich auf diese. Die Empfindlichkeit der für rotes Licht sensibilisierten Platten ist dagegen ganz enorm. Auf diese Weise gelang es mir, im roten Teil des Spektrums Linien, die Exner und Haschek mit der Intensität 1 versehen haben, gut meßbar zu erhalten, während ich im übrigen Teil des Spektrums Linien dieser Intensität höchstens durch Anpunktieren messen konnte. Im Funken erhielt ich sogar einige Linien, die Exner und Haschek nur im Bogen angeben.

Die Empfindlichkeit dieser Platten nimmt allerdings sehr schnell ab. Ein Beispiel hierfür ist folgendes: Funkenlinien von der Intensität 3 nach Exner und Haschek photographierte ich einmal direkt nach der Sensibilisierung der Platte, und zum zweiten Male 12 Stunden nachher. Im ersten Falle waren die Linien nach 2 Stunden

gut meßbar vorhanden, im zweiten Falle war nach vierstündiger Belichtungszeit keine Spur von ihnen zu entdecken.

Zum Hervorrufen des Bildes diente Agfa Rodinal in der Verdünnung 1:15. Fixiert wurde mit unterschwefligsaurem Natron.

Die Belichtungszeit ging über 4 Stunden im Funken und über 2 Stunden im Bogen nicht hinaus. Im Durchschnitt wurden die Bogenlinien 1 Stunde und die Funkenlinien 2 Stunden belichtet. Die Linien großer Intensität wurden besonders photographiert; in ihrer Belichtungszeit brauchte ich im Bogen nicht über 15 Minuten hinauszugehen. Die Dauer der Belichtung des Eisens erstreckte sich von 4—30 Minuten.

Das Spektrum wurde, so weit es möglich war, in zweiter Ordnung photographiert, d. h. von $\lambda = 6000$ bis $\lambda = 2500$ A.-E., das übrige in erster Ordnung. Im letzteren Falle wurden die violetten und ultravioletten Strahlen des übergelagerten Spektrums zweiter und dritter Ordnung mit Hilfe einer Kaliumbichromatlösung von geeigneter Konzentration absorbiert.

Die benutzten Platten waren 50 cm lang; da die Dispersion des Gitters so groß ist, daß auf 1 mm eine Angströmeinheit fällt, so kam auf jede Platte rund 500 A.-E. Die verschiedenen Stellungen, an denen Aufnahmen gemacht wurden, wurden nun derart gewählt, daß immer eine Platte die vorhergehende zur Hälfte überdeckte, d. h. das Spaltrohr wurde auf der empirisch geeichten Schiene immer um 500 A.-E. verschoben. Um auf diese Weise sämtliche Spektrallinien doppelt zu erhalten, sind für den Bogen und für den Funken je 17 Aufnahmen nötig, d. h. im ganzen 34. Um aber möglichst genaue Resultate bei der Messung zu erzielen, habe ich jede Linie im Durchschnitt viermal photographiert und im ganzen 66 brauchbare Platten hergestellt. Dies geschah hauptsächlich aus folgendem Grunde:

Bei der Ausmessung der Platten fällt oft auf, daß sämtliche zu untersuchende Spektrallinien gegenüber den Eisenlinien um den gleichen Betrag verschoben sind. Nach den eingehenden Untersuchungen von O. Holtz[12]) beruhen diese gleichmäßigen Verschiebungen der Spektrallinien auf Temperaturänderungen in dem Gitterraum.

Holtz hat gefunden, daß bei den großen Dimensionen der verwandten Gitteraufstellung Unterschiede von $1^0$ bereits Verschiebungen von etwa 0,1 A.-E. verursachen. Wenn man allein auch schon aus Rücksicht auf die Justierung die Temperatur der

Dunkelkammer möglichst konstant zu halten sucht, so lassen sich doch kleine Änderungen bei längerer Belichtungszeit kaum vermeiden. So kam es, daß bei meinen längsten Funkenaufnahmen sich Verschiebungen der Strontiumlinien gegenüber den Eisenlinien bis zu 0,1 A.-E. zeigten. Da ich jede Linie meines Elementes auf vier verschiedenen Platten hatte, so fiel es mir nicht schwer, die event. Verschiebung auf den einzelnen Platten mit großer Genauigkeit auszurechnen, und eine Serie sich aneinanderreihender Platten mit gleichen Ergebnissen aufzustellen. Nachdem ich so die Platten in präzisen Zusammenhang gebracht hatte, durfte ich hoffen, sämtliche Spektrallinien einwandsfrei innerhalb der Fehlergrenze gemessen zu haben. Höchstens konnte noch das ganze Spektrum zu tief oder zu hoch gemessen sein. Dies untersuchte ich einmal mit Hilfe der vorgefundenen und bereits gemessenen Verunreinigungen. Eine absolute Gewißheit verschaffte ich mir dadurch, daß ich an den Stellen, wo die Belichtungszeit des Eisens mit der der starken Strontiumlinien übereinstimmte, das Sr-Spektrum und das Vergleichsspektrum zu gleicher Zeit erzeugte. Als eine Elektrode nahm ich dann einen Eisenstab und als andere die mit Strontiumnitrat gefüllte Kohle. Um die positive und negative Elektrode gleich wirken zu lassen, schaltete ich in der Mitte der Belichtungszeit den Strom einmal um. Wenn bei diesen Aufnahmen die Temperatur des Gitterraumes nicht ganz konstant blieb, so verschoben sich die Eisen- und Strontiumlinien gleichmäßig, was natürlich bei den relativen Messungen nichts ausmacht. Mit Hilfe anderer Platten wurden die einzelnen Linien dann identifiziert und gemessen. Dieses Verfahren läßt sich natürlich nur im Bogen anwenden.

Als Normalen wurden, wie schon erwähnt, von 6945—4282 die internationalen Normalen benutzt, von 4233—2373 die Normalen von F a b r y und B u i s s o n. In dem langwelligen Teil benutzte ich nur bis 6000 A.-E. die Normalen erster Ordnung; darüber hinaus verwandte ich die überlagerten Normalen zweiter Ordnung. Dies war erlaubt, da bei dem Gitter die entsprechenden Linien der ersten, zweiten und dritten Ordnung genau zusammenfallen, so wie es die Theorie verlangt.

### Die Meßmethode und besonders erwähnenswerte Resultate.

Das Ausmessen der Platten geschah auf der nach Anweisungen von Professor K a y s e r[13]) von Wolz in Bonn konstruierten Teil-

maschine. Sie hat eine Ganghöhe von 0,33 mm und gestattet, die Hundertstel einer Schraubenumdrehung genau abzulesen und die Tausendstel zu schätzen. Eine ausführliche Beschreibung und Abbildung dieser Maschine findet sich in Kaysers „Handbuch der Spektroskopie“, Bd. I. Die Messung selbst geschah in der Weise, daß jedesmal das zwischen zwei Normalen liegende Stück einer Platte unter dem Fadenkreuz der Teilmaschine vorbeigeführt und die Größe der Schraubenumdrehung markiert wurde. Jede Messung war das Mittel aus vier Einstellungen, d. h. aus einem zweimaligen Hin- und Hergang. Dabei wurde der tote Gang und der periodische Fehler der Spindel in folgender Weise zu eliminieren gesucht: Für den ersteren wurde die Platte vor jeder Rückdrehung über die letzte Normale etwas hinausgedreht. Für den letzteren wurde nach dem zweiten Passieren der Platte der Schraubenknopf um 180° weitergedreht und das Fadenkreuz neu eingestellt. Da es besonders auf die exakte Einstellung der Normalen ankommt, so habe ich alle Normalen, die nicht sehr scharf waren, jedesmal doppelt eingestellt, so daß ich bei ihnen als Resultat das Mittel aus acht Einstellungen nahm. Als definitiver Wert der Wellenlänge einer Linie wurde im Durchschnitt das Mittel aus sechs beobachteten Werten genommen, die auf verschiedenen Platten und an verschiedenen Stellungen gewonnen waren. Umgekehrte Linien wurden in der Mitte des hellen Teiles gemessen.

Was die Genauigkeit meiner angegebenen Werte betrifft, so glaube ich, daß die Mehrzahl der Linien die Fehlergrenze der Teilmaschine von $\pm 0{,}003$ A.-E. nicht übertrifft.

Drei Linien zeigten auf verschiedenen Platten eine sonderbare Abweichung, während alle anderen vorzüglich übereinstimmten. F. Goos[14]) hat gefunden, daß bei einzelnen Linien Verschiebungen auftreten, wenn man die Länge des Flammenbogens ändert, wenn man außer in der Mitte des Bogens, in der Nähe der glühenden Elektroden die Strahlung untersucht, oder wenn man Stromstärke und Spannung ändert, dickere oder dünnere Eisenstäbe benutzt usw. Gelegentlich eines Besuches in Bonn hat er durch Versuche an dem auch von mir benutzten Gitter eine weitere Bestätigung der Verschiebung einzelner Linien gefunden. Leider habe ich meine Untersuchungen vor den Beobachtungen von Goos gemacht und deshalb nicht auf eine absolute Unveränderlichkeit der Lichtquelle bei den verschiedenen Aufnahmen gesehen. Zwar haben im großen und ganzen alle Aufnahmen unter denselben Bedingungen

stattgefunden. Die geringen Schwankungen der Ampèrezahl habe ich schon angegeben. Es scheinen auch nur wenige Linien des Spektrums zu sein, die unter den angegebenen Bedingungen eine Veränderlichkeit zeigen. Jedenfalls stimmten meine Linien auf allen Platten vorzüglich überein, bis auf die drei Linien. Diese scheinen sich allerdings leicht zu verschieben und dürften der besonderen Beobachtung anempfohlen werden. Es sind zwei Bogenlinien und eine Funkenlinie, und zwar die Linien $\lambda = 5451$ und $\lambda = 4531$ im Bogen und die Linie $\lambda = 4784$ im Funken. Es sei hinzugefügt, daß alle drei Linien auf den verschiedenen Platten sehr scharf waren und einwandfrei gemessen werden konnten. Die entsprechenden Messungen stimmten im Durchschnitt selbst in den Tausendsteln überein. Einer der beiden Werte zeigt immer mit dem der entsprechenden Funkenlinie, bzw. Bogenlinie gute Übereinstimmung. Überhaupt ist die Übereinstimmung der Werte im Bogen und Funken im allgemeinen gut.

Eine relativ große Abweichung von $^{30}/_{1000}$ A.-E. zeigt nur die Linie 4876,323. Exner und Haschek geben hier im Funken zwei Linien an, im Bogen dagegen nur eine. Bei mir ergaben sich im Bogen und Funken zwei scharf getrennte Linien. Die nächste größere Abweichung zeigt die Linie 4608. Hier beträgt die Differenz allerdings nur noch $^{15}/_{1000}$. Diese Linie ist im Funken außergewöhnlich scharf, im Bogen mittelscharf. Dafür treten im Bogen Geister auf, deren arithmetisches Mittel bei allen Messungen bis auf $\pm {}^{2}/_{1000}$ mit der Linie selbst übereinstimmte. Alle übrigen Linien zeigen kleinere Differenzen.

## Gesetzmäßigkeiten.

Das Spektrum des Strontiums ist reich an Gesetzmäßigkeiten. Rydberg, Kayser und Runge, Ritz,[15] Saunders,[16, 17, 18] Randall[19] haben sich um ihre Auffindung verdient gemacht. Dunz[20] hat eine Zusammenstellung der Serien gegeben.

Es besitzt:

1. Drei Tripletserien. Die Glieder der ersten Nebenserie zeigen hierbei Trabanten, und zwar hat die erste Linie des Triplets zwei und die zweite einen Trabanten. Die dritte Linie ist einfach. Diese Trabanten sind meistens schwache Linien und sind deshalb kaum alle beobachtet worden. Ich habe sie auch nur sehr unvollständig er-

halten. Bezeichnet man diese sechs so zusammengehörigen Linien der Reihe nach mit den Zahlen 1—6, so hat die 1. und 4., sowie die 2. und 5. dieselbe Schwingungsdifferenz $v_1 = 394{,}2$. Die 4. und 6. ergibt die kleinere Schwingungsdifferenz $v_2 = 186{,}8$. Ich habe nur in zwei Fällen alle sechs Linien vorgefunden, die nach Kayser ein solches zusammengesetztes Triplet bilden. Zu dem einen gehören die Linien 4971,649; 4967,928; 4962,244; 4876,062; 4872,485; 4832,075. Die kleinere Schwingungsdifferenz weicht aber hier merklich von den übrigen gut übereinstimmenden Werten ab. Einen Fehler in der Messung, der $^{40}/_{1000}$ betragen müßte, halte ich für ausgeschlossen, zumal ich die in Betracht kommenden Linien zur Aufklärung der sonderbaren Abweichung auf den verschiedensten Platten mit großer Sorgfalt gemessen habe. Da keine anderen Linien für dieses Triplet in Frage kommen können, so haben wir hier offenbar einen Fall, wo die Praxis der Theorie nicht ganz recht gibt. Das andere zusammengesetzte Triplet, das ich vollständig erhielt, zeigt die verlangte Gesetzmäßigkeit sehr genau. Die Intensität der Trabanten der folgenden Glieder ist so gering, daß ich sie bei der großen Dispersion des von mir verwandten Gitters nicht erhalten konnte. Auch ist in der Abnahme ihres Abstandes von den Hauptlinien bei den weiteren Triplets der Beobachtung der Zusammengesetztheit eine Grenze gesetzt. — Von der zweiten Nebenserie konnte ich ebenfalls zwei Triplets aufstellen.

2. besitzt Sr ein Triplet, das dieselben Schwingungszahlen aufweist wie die zweite Nebenserie des ersten Triplets, das aber nicht zu ihr gehört, wie bereits ein Vergleich der Intensitäten ergibt.

3. kommen bei Sr zwei Paare vor mit der Schwingungsdifferenz $v_1$ des Triplets.

4. finden sich drei Serien von Paaren mit ungefähr der doppelten Differenz $v_3 = 801{,}4$. Sie sind auch als Haupt-, erste und zweite Nebenserie charakterisiert.

5. besitzt Sr noch eine Serie von Triplets mit kleineren Schwingungsdifferenzen $v_4$ und $v_5$; wie aus meiner Tabelle ersichtlich, ist ihre Kenntnis noch unvollständig. Der Grund liegt darin, daß die Trabanten der Glieder der ersten Nebenserie nicht genügend bekannt sind.

6. hat Sr eine Serie einfacher Linien.

Es folgen nunmehr in den ersten beiden Tabellen 1 und 2 die Ergebnisse meiner Messungen im Bogen und Funken. Zum Vergleich stelle ich als ältere Messungen die von Eder und Valenta,[21, 22] Exner und Haschek,[23, 24] und Kayser und Runge[1] daneben. Linien, die ich unter dem Mikroskop nicht sehen konnte, weil sie zu schwach waren, habe ich unter der Lupe anpunktiert und dann gemessen. Bekam ich dabei auf verschiedenen Platten gut übereinstimmende Werte, so habe ich sie bis auf die zweite Dezimale angegeben, sonst nur bis auf die erste.

Vier Bogenlinien konnte ich mit bisher gemessenen Linien anderer Elemente nicht identifizieren. Sie dürften deshalb wohl Sr-Linien sein. Sie finden sich am Schlusse der die gemessenen Verunreinigungen enthaltenden Tabelle 3.

Neu beobachtet habe ich außerdem die bisher im Funken fehlenden Linien: 7070,099; 6446,667; 6370,0* und 6363,95*.

Die Intensitäten sind im Anschluß an das Kaysersche System[25] mit einer schwachen Lupe geschätzt und in den Zahlen 0—10 angegeben. Auch die Angaben über das Aussehen der Linien entsprechen den von H. Kayser gebrauchten Abkürzungen.

Es heißt:

u = unscharf,
U = sehr unscharf,
R = umgekehrt,
r = nach Rot verbreitert,
v = nach Violett verbreitert,
W = unscharf und verwaschen.

Die anpunktierten Linien sind in der Tabelle mit einem * versehen.

Tabelle 4 enthält die von mir gemessenen Luftlinien. Wegen ihrer Unschärfe sind sie alle nur auf ein Hundertstel angegeben. Ihr Ursprung ist der Tabelle von Exner und Haschek entnommen.

In Tabelle 5 sind endlich die Gesetzmäßigkeiten zusammengestellt, soweit mir ihre Auffindung möglich war. Zur Umrechnung der Wellenlängen auf das Vakuum benutzte ich dabei die Tabelle, die Kayser im 2. Bande seines Handbuches gibt.[26]

## Tabelle 1. Bogen.

| Kayser u. Runge | | Exner u. Haschek | | Hampe I. N. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Intensität | | Intensität | | Intensität |
| 7070,7 | -- | 7070,30 | 3 R | 7070,102 | 7 u |
| — | — | 6892,81 | 2 | 6892,598 | 5 |
| 6878,8 | — | 78,50 | 10 R | 78,347 | 7 |
| 6791,4 | — | 6791,29 | 10 | 6791,046 | 6 |
| — | — | 6643,70 | 8 | 6643,545 | 4 |
| — | — | 17,50 | 15 | 17,268 | 5 |
| 6550,53 | 4 | 6550,59 | 20 | 6550,253 | 7 |
| — | — | 47,00 | 10 | 46,785 | 5 |
| 04,17 | 3 | 04,21 | 20 | 03,990 | 8 |
| — | — | 6466,01 | 3 | 6465,788 | 3 |
| — | — | 46,89 | 4 | 46,676 | 3 |
| 6408,65 | 4 | 08,76 | 50 | 08,465 | 8 u |
| — | — | 6388,50 | 20 | 6388,245 | 6 |
| 6386,74 | 4 | 86,84 | 30 | 86,507 | 6 |
| 80,95 | 3 | 81,00 | 20 | 80,740 | 5 |
| — | — | 70,23 | 15 | 69,959 | 4 |
| — | -- | 64,23 | 10 | 63,932 | 4 |
| — | — | 46,05 | 10 | 45,760 | 4 |
| — | — | 22,03 | 1 | 21,768 | 0 |
| — | -- | 17,5 | 1 u | 17,3* | 0 u |
| — | — | 6295,89 | 1 | 6295,65 | 1 u |
| — | — | 72,32 | 2 | 72,052 | 2 |
| — | — | 49,0 | 2 u | 48,52 | 2 u |
| — | — | 43,3 | 2 u | 43,004 | 2 u |
| — | — | 6179,10 | 1 u | — | — |
| — | — | 59,15 | 2 | 6158,967 | 3 |
| — | — | 6093,06 | 1 | — | — |
| 5970,38 | 3 r | 5970,6 | 3 u | 5970,103 | 3 |
| 5848,01 | 1 | — | — | — | — |
| 17,01 | 2 | 5817,02 | 3 | 5816,770 | 2 |
| 5767,29 | 2 | 5767,32 | 3 | 5767,046 | 2 |
| — | — | 09,65 | 3 | 09,40* | 0 |
| — | — | 03,5 | 1 u | — | — |
| — | — | 5693,22 | 3 | 5693,0* | 0 u |
| — | — | 74,22 | 2 | 73,8* | 0 u |
| — | — | 26,28 | 2 | — | — |
| — | — | 21,50 | 3 | 21,24* | 0 |
| — | -- | 5598,55 | 10 | 5598,480 | 6 |
| — | — | 86,10 | 2 | 85,937 | 1 |
| — | — | 56,53 | 3 | 56,319 | 1 u |
| 5543,49 | 4 u | 43,44 | 30 | 43,327 | 5 |
| 40,28 | 4 | 40,29 | 20 | 40,033 | 5 |
| 35,01 | 4 | 35,10 | 20 | 34,796 | 5 |
| 22,02 | 5 | 22,01 | 30 | 21,752 | 6 |
| — | — | — | — | 21,303 | 1 |
| 04,48 | 6 | 04,50 | 50 | 04,166 | 5 |
| — | — | — | — | 03,72 | 1 u |
| 486,37 | 5 | 5486,40 | 20 | 5486,121 | 5 |
| — | — | — | — | 81,23 | 1 u |
| 81,15 | 6 | 81,19 | 100 | 80,840 | 7 |
| — | — | — | — | 80,41 | 1 u |
| 51,08 | 5 | 51,20 | 20 | {50,834<br>{50,818} | 6 |

Tabelle 2. Funken.

| Eder u. Valenta | Intensität | Exner u. Haschek | Intensität | Hampe I. N. | Intensität |
|---|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | 7070,099 | 1 |
| — | — | 6892,85 | 1 | — | — |
| 6878,68 | 1 | 78,62 | 1 | — | — |
| 6791,34 | 1 | 6791,36 | 1 | 6791,045 | 1 |
| 6643,89 | 1 | 6643,84 | 1 | 6643,545 | 2 |
| 17,85 | 2 | 17,55 | 2 | 17,272 | 3 |
| — | — | 6550,58 | 3 | 6550,260 | 3 |
| 6547,11 | 1 | 47,06 | 1 | 46,785 | 2 |
| 04,30 | 4 | 04,29 | 5 | 04,005 | 4 |
| — | — | 6466,1 | 1 u | — | — |
| — | — | — | — | 6446,667 | 1 |
| 6408,74 | 8 | 08,69 | 10 | 08,480 | 4 |
| — | — | 6388,51 | 1 | 6388,241 | 1 |
| 6386,72 | 1 | 86,78 | 1 | 86,51* | 0 |
| 81,05 | 1 | 81,01 | 2 | 80,739 | 1 |
| — | — | — | — | 70,0* | 0 u |
| — | — | — | — | 63,95* | 0 |
| — | — | 46,05 | 1 | — | — |
| — | — | 5970,6 | 1 u | — | — |
| — | — | 41,9 | 1 u | — | — |
| 5848,02 | 1 | — | — | — | — |
| 17,02 | 1 | — | — | — | — |
| 5767,29 | 1 | — | — | — | — |
| — | — | 5598,75 | 1 | — | — |
| — | — | 94,37 | 1 | — | — |
| 5543,48 | 4 | 43,4 | 1 u | — | — |
| 40,26 | 6 | 40,31 | 3 | 5540,030 | 2 |
| 35,02 | 8 | 35,03 | 3 | 34,794 | 2 |
| 22,03 | 8 | 22,01 | 5 | 21,756 | 3 |
| 04,46 | 8 | 04,49 | 5 | 04,166 | 3 |
| 5486,36 | 6 | 5486,36 | 2 | 5486,118 | 2 |
| 81,18 | 10 | 81,10 | 10 | 80,840 | 4 |
| — | — | 57,6 | 1 u | — | — |
| — | — | 56,6 | 1 u | — | — |
| 51,07 | 5 | 51,05 | 2 | 50,816 | 2 |
| — | — | 44,6 | 1 u | — | — |
| — | — | 5330,11 | 1 | — | — |
| 52,5714 | 10 | 5257,11 | 3 | 5256,804 | 3 |
| 38,74 | 8 | 38,76 | 3 | 38,55* | 0 |
| 29,53 | 6 | 29,48 | 2 | 29,27* | 0 |
| 25,33 | 6 | 25,34 | 2 | 25,1* | 0 u |
| 22,42 | 6 | 22,42 | 2 | 22,21* | 0 |
| 13,25 | 1 | — | — | — | — |
| 5156,37 | 2 | 5156,30 | 1 | — | — |
| — | — | 5010,85 | 1 u | — | — |
| 4968,12 | 4 | 4968,06 | 1 | 4967,92* | 0 |
| 62,44 | 8 | 62,40 | 3 | 62,249 | 2 |
| 4892,21 | 4 | 4892,19 | 1 | — | — |
| — | — | 76,46 | 2 | 4876,293 | 1 |
| 76,33 | 6 | 76,26 | 2 | 76,08* | 0 |
| 72,65 | 6 | 72,62 | 2 | 72,480 | 2 |
| 68,91 | 6 | 68,90 | 2 | 68,72* | 0 |
| 55,29 | 4 | 55,22 | 2 | 55,06* | 0 |

Tabelle 1. Bogen (Fortsetzung).

| Kayser u. Runge | Intensität | Exner u. Haschek | Intensität | Hampe I. N. | Intensität |
|---|---|---|---|---|---|
| — | — | 5417,5 | 1 | — | — |
| — | — | 5389,6 | 1 u | — | — |
| — | — | 86,6 | 1 u | — | — |
| — | — | 30,11 | 20 r | 5329,816 | 5 |
| — | — | 13,4 | 1 u | — | — |
| 5257,12 | 6 | 5257,10 | 50 | 5256,897 | 6 |
| 38,76 | 6 | 38,82 | 30 | 38,548 | 6 |
| 29,52 | 5 | 29,51 | 30 | 29,266 | 5 |
| 25,35 | 5 | 25,35 | 20 | 25,110 | 5 |
| 22,43 | 5 | 22,50 | 20 | 22,200 | 5 |
| 13,23 | 3 | 13,22 | 8 | 12,968 | 2 |
| 5156,37 | 6 | 5156,38 | 50 | 5156,068 | 4 |
| — | — | 5077,87 | 2 | 5077,68 | 1 |
| 4971,85 | 4 | 4971,79 | 3 | 4971,649 | 3 |
| 68,11 | 5 | 68,03 | 20 | 67,928 | 4 |
| 62,45 | 6 R | 62,43 | 50 R | 62,244 | 6 Ru |
| 4892,87 | 4 | 4892,90 | 3 | 4892,666 | 2 |
| 92,20 | 7 | 92,20 | 10 | 92,009 | 6 |
| 76,49 | 7 | 76,38 | 20 | 76,323 | 6 |
| 76,23 | 7 R | — | — | 76,062 | 6 |
| 72,66 | 6 R | 72,70 | 20 | 72,485 | 6 u |
| 69,41 | 3 u | 69,45 | 3 | 69,194 | 3 |
| 68,92 | 4 u | 68,92 | 5 | 68,739 | 4 |
| 55,27 | 4 u | 55,20 | 10 | 55,078 | 4 u |
| 32,23 | 6 R | 32,27 | 20 | 32,075 | 6 u |
| 12,01 | 6 R | 12,03 | 20 R | 11,867 | 6 R |
| 4784,43 | 4 | 4784,51 | 10 | 4784,323 | 4 |
| — | — | 75,4 | 1 u | — | — |
| 55,59 | 2 | 55,60 | 5 | 55,467 | 2 u |
| 42,07 | 4 | 42,08 | 10 | 41,917 | 5 |
| 29,93 | 2 u | 29,8 | 2 v | 29,48 | 1 u |
| 22,42 | 5 | 22,48 | 10 | 22,272 | 6 |
| — | — | 15,85 | 1 u | 15,2* | 0 u |
| — | — | 14,35 | 1 u | 14,0* | 0 u |
| — | — | 11,65 | 1 u | — | — |
| — | — | 07,5 | 1 u | 07,1* | 0 u |
| — | — | 04,35 | 1 u | 04,0* | 0 u |
| — | — | 01,2 | 1 u | 00,7* | 1 u |
| — | — | 4688,8 | 1 u | 4688,4* | 0 u |
| — | — | 85,0 ? | 1 u | — | — |
| 4678,39 | 4 u | 78,5 | 5 v | 78,304 | 4 u |
| — | — | 62,19 | 1 | — | — |
| 07,52 | 6 R | 07,51 | 1000 R | 07,340 | 10 R |
| 4531,54 | 4 | 4531,52 | 5 | {4531,359 / 4531,340} | 4 |
| 4480,96 | 2 u | 4480,9 | 5 r | 4480,540 | 2 u |
| — | — | 51,99 | 2 | 51,803 | 3 |
| 38,22 | 4 u | 38,21 | 20 | 38,044 | 4 u |
| 12,82 | 3 | 12,80 | 3 | 12,620 | 3 |
| — | — | 07,0 | 2 u | 06,11 | 1 u |
| 4361,87 | 4 u | 4361,88 | 20 | 4361,710 | 4 |
| 38,00 | 4 r | 38,2 | 5 r | 37,704 | 4 r |
| 26,60 | 3 | 26,64 | 3 | 26,444 | 3 |

Tabelle 2. Funken (Fortsetzung).

| Eder u. Valenta | | Exner u. Haschek | | Hampe I. N. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Intensität | | Intensität | | Intensität |
| 4832,24 | 6 | 4832,23 | 8 | 4832,084 | 3 |
| 12,03 | 6 | 11,99 | 10 | 11,869 | 4 |
| 4784,43 | 5 | 4784,49 | 4 | {4784,304 4784,320} | 2 |
| — | — | 55,7 | 1 u | — | — |
| 42,06 | 6 | 42,13 | 3 | 41,916 | 3 |
| 22,43 | 5 | 22,48 | 4 | 22,269 | 3 |
| — | — | 4678,4 | 1 u | — | — |
| 4607,51 | 30 | 07,51 | 50 R | 4607,342 | 6 R |
| — | — | 4531,59 | 2 | 4531,358 | 1 u |
| — | — | 4438,21 | 4 | 4438,045 | 3 |
| — | — | 12,88 | 1 | — | — |
| — | — | 4361,90 | 3 | 4361,707 | 2 |
| — | — | 38,05 | 2 r | 37,706 | 1 u |
| — | — | 26,65 | 1 | — | — |
| — | — | 05,77 | 100 r | 05,462 | 5 r |
| — | — | 4215,70 | 500 R | 4215,517 | 9 R |
| — | — | 4162,05 | 50 r | 4161,813 | 3 |
| — | — | 40,51 | 1 | — | — |
| — | — | 4077,89 | 1000 R | 4077,715 | 10 R |
| — | — | 32,50 | 1 | 32,388 | 2 |
| — | — | 30,60 | 5 v | 30,385 | 4 v |
| — | — | 3970,1 | 1 | — | — |
| — | — | 69,35 | 1 | 3968,3* | 0 |
| — | — | 41,0 | 2 v | 40,80* | 0 |
| — | — | 3705,9 | 1 u | 3705,9* | 0 u |
| — | — | 3653,3 | 1 u | — | — |
| — | — | 3475,10 | 8 r | 3474,902 | 3 r |
| — | — | 64,70 | 50 r | 64,470 | 7 r |
| — | — | 3381,00 | 30 r | 3380,725 | 6 r |
| — | — | 66,44 | 2 | 66,336 | 2 |
| — | — | 51,45 | 2 u | 51,26 | 2 u |
| — | — | 30,19 | 2 | 30,014 | 2 |
| — | — | 22,36 | 2 | 22,229 | 1 |
| — | — | 07,5 | 1 u | — | — |
| — | — | 01,86 | 2 | 01,739 | 1 |
| — | — | 2932,00 | 1 | — | — |
| — | — | 2471,75 | 1 r | — | — |
| — | — | 24,2 | 1 | — | — |
| — | — | 23,75 | 1 | — | — |
| — | — | 2322,53 | 2 r | — | — |
| — | — | 2282,20 | 1 r | — | — |
| — | — | 2166,10 | 1 r | — | — |
| — | — | 53,00 | 1 r | — | — |

Tabelle 1. Bogen (Fortsetzung).

| Kayser u. Runge | | Exner u. Haschek | | Hampe I. N. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Intensität | | Intensität | | Intensität |
| 4319,39 | 3r | 4319,4 | 3r | 4319,090 | 3r |
| — | — | 13,7 | 1u | 13,23 | 1W |
| 08,49 | 2r | 08,5 | 2u | 08,13 | 2u |
| — | — | — | — | 05,792 | 1u |
| 05,60 | 4 | 05,68 | 20 | 05,459 | 4 |
| — | — | — | — | 05,108 | 1 |
| 4215,66 | 6R | 4215,70 | 500R | 4215,515 | 9R |
| 4161,95 | 4 | 4161,99 | 20 | 4161,812 | 4 |
| — | — | 4087,88 | 1u | 4087,46* | 0u |
| 4077,88 | 6R | 77,89 | 1000R | 77,714 | 10R |
| — | — | 61,3 | 1R | 61,1 | 1u |
| — | — | 51 | 1u | — | — |
| 33,25 | 3 | — | — | 33,19 | 0 |
| 32,51 | 3v | 32,50 | 8 | 32,387 | 3 |
| 30,45 | 4v | 30,55 | 20 | 30,386 | 4v |
| 3970,15 | 3u | 3970,12 | 8 | 3970,049 | 3 |
| 69,42 | 3 | 69,40 | 8 | 69,270 | 3 |
| 40,91 | 3v | 40,90 | 10 | 40,806 | 4 |
| 3865,59 | 4 | — | — | — | — |
| 07,51 | 4 | — | — | — | — |
| 3780,58 | 3 | — | — | — | — |
| 05,88 | 4U | 3706,0 | 2u | 3705,90 | 3U |
| 3653,90 | 2u | 3654,0 | 2 | 3653,91 | 2u |
| 53,32 | 3u | 53,30 | 2 | 53,26 | 3u |
| 29,15 | 3 | 29,1 | 2u | 29,12 | 3u |
| 28,62 | 2 | 28,7 | 2u | 28,37 | 2u |
| 3577,45 | 1 | 3577,5 | 1u | — | — |
| 47,92 | 4U | 47,8 | 2u | 3548,1 | 4U |
| 04,70 | 2U | 04,9 | 1u | 04,27* | 2u |
| 3499,40 | 4u | 3499,4 | 2u | 3499,61 | 4u |
| 77,33 | 2u | 77,3 | 1u | 77,2* | 0u |
| 75,01 | 4u | 75,09 | 8 | 74,901 | 4 |
| 64,58 | 5 | 64,68 | 30 | 64,470 | 6 |
| 57,70 | 1U | 57,7 | 1u | 57,54* | 0 |
| 56,78 | 1 | 56,8 | 1u | 56,52* | 0 |
| 34,95 | 1 | — | — | — | — |
| 11,62 | 1u | 11,7 | 1u | — | — |
| 00,39 | 1u | — | — | — | — |
| 3390,09 | 1u | — | — | — | — |
| 80,89 | 5 | 3380,98 | 20 | 3380,721 | 5 |
| — | — | 71,10 | 1 | — | — |
| 66,43 | 5 | 66,51 | 20 | 66,339 | 5 |
| 51,35 | 6R | 51,45 | 30R | 51,258 | 6R |
| 30,15 | 5 | 30,20 | 8 | 30,011 | 4 |
| 22,32 | 5 | 22,40 | 10 | 22,237 | 5u |
| 07,64 | 6R | 07,6 | 5u | 07,548 | 4 |
| 01,81 | 5 | 01,86 | 10 | 01,739 | 5 |
| 00,4 | 2U | — | — | — | — |
| 3199,1 | 2u | 3199,2 | 1u | — | — |
| 90,1 | 2U | 90,0 | 1u | — | — |
| 89,4 | 2U | 89,3 | 1u | — | — |
| 82,4 | 1U | — | — | — | — |
| 72,3 | 1U | — | — | — | — |

Tabelle 1. Bogen (Fortsetzung).

| Kayser u. Runge | Intensität | Exner u. Haschek | Intensität | Hampe I. N. | Intensität |
|---|---|---|---|---|---|
| 2931,98 | 5 | 2932,00 | 1 | 2931,856 | 2 |
| — | — | 2569,55 | 3R | 2569,502 | 2 |
| — | — | 2471,77 | 1 | — | — |
| — | — | 28,20 | 3R | 2428,113 | 2 |
| — | — | 2354,40 | 1R | — | — |
| — | — | 22,52 | 1 | — | — |

## Tabelle 3. Verunreinigungen.

### A. Bogen.

#### Aluminiumlinien.

3961,543
3944,027
3092,721
3082,166

#### Bariumlinien.

6496,899 Co?
4554,036

#### Calciumlinien.

6493,765 Co?
6169,610
6162,195
5857,499
5601,268
5590,107
5588,745
5581,958
5512,930
5349,466
5265,549
4585,906
4455,887
4454,778
4435,682
4434,957
4425,435
4318,648
4302,525
4298,987
4283,002
4289,361
3968,481

#### Kobaltlinien.

6439,095

#### Kupferlinien.

3273,969

#### Magnesiumlinien.

2852,127
2802,716
2795,543

#### Natriumlinien.

5682,674
3302,979

#### Siliciumlinien.

2881,589

#### Titanlinien.

3361,213
3349,410

#### Unbekannten Ursprungs sind:

| | Intensität |
|---|---|
| 4301,156 | 1 |
| 4070,84* | 1 u |
| 4057,835 | 1 |
| 2578,076 | 4 |

## B. Funken.

**Aluminiumlinien.**

3961,545

**Bariumlinien.**

4554,039

**Magnesiumlinien.**

2852,124
2802,715
2795,544

**Calciumlinien.**

4454,780
4434,960
4302,523
4298,985
4289,361
4283,004
3181,279
3179,333
3158,864

In der nun folgenden Tabelle der Luftlinien füge ich zum Vergleich noch die Angaben von Schippers, Nacken und Klein bei, und zwar bringe ich nur diejenigen ihrer Linien, die auch ich gefunden habe.

Tabelle 4. Luftlinien.

| Schippers | Nacken | Klein | Hampe | Chem. Ursprung |
|---|---|---|---|---|
| — | 4705,55 | — | 4705,48 | O |
| — | 4699,43 | — | 4699,24 | O |
| 4661,70 | 61,53 | — | 61,53 | O |
| 49,08 | 49,10 | — | 49,10 | N |
| — | 43,11 | 4643,14 | 43,14 | N |
| — | 41,80 | 41,77 | 41,74 | O |
| — | 38,79 | — | 38,79 | O |
| 30,54 | 30,55 | 30,57 | 30,54 | N |
| 21,48 | 21,46 | 21,47 | 21,45 | N |
| 13,92 | 13,92 | 13,94 | 13,95 | N |
| — | 09,45 | — | 09,52 | O |
| 01,59 | 01,54 | 01,53 | 01,50 | N |
| — | 4596,09 | — | 4596,11 | O |
| — | — | — | 90,96 | O |
| — | 4447,04 | 4447,08 | 4447,04 | N |
| — | 17,02 | 17,01 | 17,03 | O |
| — | 15,04 | 14,9 | 15,0* | O |
| 3995,13 | — | 3995,09 | 3995,10 | N |
| — | — | 73,24 | 73,28 | O |
| — | — | 55,89 | 55,94 | N |
| — | — | 54,39 | 54,43 | O |
| — | — | 19,02 | 19,07 | N |
| — | — | — | 3437,3* | N |

## Tabelle 5. Gesetzmäßigkeiten.

### 1. Die Tripletserien.

#### a) 1. Nebenserie.

| Wellenlänge | Wellenlänge im Vakuum | Schwingungszahl im Vakuum | Schwingungsdifferenz im Vakuum |
|---|---|---|---|
| 4971,649 | 4973,001 | 20108,54 | |
| 4967,928 | 4969,289 | 20123,60 | |
| 4962,244 | 4963,603 | 20146,66 | $\nu_1$ = 394,19 |
| 4876,062 | 4877,399 | 20502,73 | $\nu_1$ = 394,18 |
| 4872,485 | 4873,821 | 20517,78 | $\nu_2$ = 186,64! |
| 4832,075 | 4833,400 | 20689,37 | |
| 4033,19 | 4034,306 | 24787,41 | |
| 4032,387 | 4033,504 | 24792,34 | $\nu_1$ = 394,21 |
| 4030,386 | 4031,503 | 24804,64 | $\nu_1$ = 394,22 |
| 3970,049 | 3971,150 | 25181,62 | |
| 3969,270 | 3970,371 | 25186,56 | $\nu_2$ = 186,86 |
| 3940,806 | 3941,900 | 25368,48 | |
| — | — | — | |
| — | — | — | ? |
| 3705,90 | 3706,93 | 26976,50 | ? |
| 3653,91 | 3654,93 | 27360,31 | |
| 3653,26 | 3654,28 | 27365,17 | $\nu_2$ = 186,91 (Nur auf $\frac{1}{100}$ gemessene Linien.) |
| 3629,12 | 3630,13 | 27547,22 | |

#### b) 2. Nebenserie.

| Wellenlänge | Wellenlänge im Vakuum | Schwingungszahl im Vakuum | Schwingungsdifferenz im Vakuum |
|---|---|---|---|
| 7070,102 | 7072,019 | 14140,23 | $\nu_1$ = 394,21 |
| 6878,347 | 6880,212 | 14534,44 | $\nu_2$ = 186,84 |
| 6791,046 | 6792,888 | 14721,28 | |
| 4438,044 | 4439,266 | 22526,25 | $\nu_1$ = 394,22 |
| 4361,710 | 4362,912 | 22920,47 | $\nu_2$ = 186,83 |
| 4326,444 | 4327,637 | 23107,30 | |

### 2. Triplet mit denselben Schwingungsdifferenzen, das aber nicht zu den vorhergehenden gehört.

| Wellenlänge | Wellenlänge im Vakuum | Schwingungszahl im Vakuum | Schwingungsdifferenz im Vakuum |
|---|---|---|---|
| 3366,339 | 3367,287 | 29697,50 | $\nu_1$ = 394,21 |
| 3322,237 | 3323,174 | 30091,71 | $\nu_2$ = 186,82 |
| 3301,739 | 3302,670 | 30278,53 | |

### 3. Serien von Paaren mit der kleineren Schwingungsdifferenz des Triplets.

| Wellenlänge | Wellenlänge im Vakuum | Schwingungszahl im Vakuum | Schwingungsdifferenz im Vakuum |
|---|---|---|---|
| 4811,867 | 4813,187 | 20776,25 | $\nu_1$ = 394,18 |
| 4722,272 | 4723,569 | 21170,43 | |
| 3351,258 | 3352,202 | 29831,14 | $\nu_1$ = 394,21 |
| 3307,548 | 3308,481 | 30225,35 | |

## 4. Weitere Serien von Paaren.

### a) 1. Nebenserie.

| Wellenlänge | Wellenlänge im Vakuum | Schwingungszahl im Vakuum | Schwingungsdifferenz im Vakuum |
|---|---|---|---|
| 3474,901 | 3475,876 | 28769,73 | $v_3$ = 801,44 |
| 3464,470 | 3465,383 | 28972,27 | |
| 3380,721 | 3381,672 | 29571,17 | |

### b) 2. Nebenserie.

| Wellenlänge | Wellenlänge im Vakuum | Schwingungszahl im Vakuum | Schwingungsdifferenz im Vakuum |
|---|---|---|---|
| 4305,459 | 4306,646 | 23219,93 | $v_3$ = 801,42 |
| 4161,812 | 4162,963 | 24021,35 | |
| 4215,515 | 4216,679 | 23715,35 | $v_3$ = 801,41 |
| 4077,714 | 4078,843 | 24516,76 | |

## 5. Engere Triplets.

### a) 1. Nebenserie.

| Wellenlänge | Wellenlänge im Vakuum | Schwingungszahl im Vakuum | Schwingungsdifferenz im Vakuum |
|---|---|---|---|
| — | — | — | |
| 4892,666 | 4894,007 | 20433,15 | ? |
| 4892,009 | 4893,350 | 20435,90 | $v_4$ = 100,42 |
| 4869,194 | 4870,529 | 20531,65 | |
| 4868,739 | 4870,074 | 20533,57 | $v_5$ = 59,70 |
| 4855,078 | 4856,409 | 20591,35 | |
| — | — | — | Die Trabanten sind nicht bekannt, die die richtigen Werte ergeben. |
| — | — | — | ? |
| 4337,704 | 4338,900 | 23047,32 | ? |
| — | — | — | $v_4$ = 99,32 |
| 4319,090 | 4320,281 | 23146,64 | ? $v_5$ = 58,88 |
| 4308,13 | 4309,32 | 23205,52 | |

### b) 2. Nebenserie.

| Wellenlänge | Wellenlänge im Vakuum | Schwingungszahl im Vakuum | Schwingungsdifferenz im Vakuum |
|---|---|---|---|
| 5534,796 | 5536,306 | 18062,59 | $v_4$ = 100,51 |
| 5504,166 | 5505,668 | 18163,10 | $v_5$ = 59,74 |
| 5486,121 | 5487,618 | 18222,84 | |
| 5256,897 | 5258,333 | 19017,43 | $v_4$ = 100,49 |
| 5229,266 | 5230,655 | 19117,92 | $v_5$ = 59,77 |
| 5212,968 | 5214,393 | 19177,69 | |

Zum Schluß bleibt mir noch die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Kayser für die gütige Anregung zu dieser Arbeit, sowie für das ihr stets dargebrachte Interesse herzlichst Dank zu sagen.

## Literatur.

1) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie, Bd. VI. 525—565.

2) R. Rossi, The effect of pressure on the band spectra of the Fluorides of the metals of the alkaline earths. Proceedings of the Royal Society of London, Series A. **82.** 518. 1909.

3) M. A. Dufour, Nouvelles mesures du phénomène de Zeeman présenté par quelques Bandes d'Emission de Molécules de corps a l'état gazeux. Annales de chimie et de physique (8) **21.** 568. 1910.

4) Th. Lyman, Spark spectra of the alkali earths in the Schumann region. Astrophys. Journ. **35.** 341. 1912.

5) J. Stark u. G. Wendt, Bandenemission fester Metallverbindungen durch Kanalstrahlen. Annalen d. Physik (4) **38.** 690. 1912.

6) W. Hartley u. H. Moss, On the ultimate lines and the quantities of the elements producing these lines, in spectra of the oxydhydrogen flame and spark. Proceedings of the Royal Soc. Series A. **87.** 38. 1912.

7) H. Lehmann, Ultrarote Emissionsspektra. Annalen d. Physik (4) **39.** 53. 1912.

8) H. Starke u. J. Herweg, Magnetische Drehung und inverser Zeemaneffekt in Quecksilberdampf. Phys. Zeitschr. **14.** 1. 1913.

9) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie, I. 471 ff.

10) H. Konen, Über die Kruppsche Gitteraufstellung im physikalischen Institut der Universität Bonn. Zeitschr. f. wiss. Phot. 325—342. 1903.

11) P. E. Dhein, Messungen am Funkenspektrum des Palladiums. Dissert. Bonn 1912. S. 11.

12) A. O. Holtz, Messungen im Bogen- und Funkenspektrum des Calciums nach den internationalen Normalen. Dissert. Bonn 1913. S. 7.

13) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie, I. 644.

14) F. Goos, Wellenlängen aus dem Bogenspektrum des Eisens im internationalen System. Zeitschr. f. wiss. Phot. **1.** 305. 1912.

15) Ritz, Phys. Zeitschr. **9.** 521 ff. 1908.

16) F. A. Saunders, Calcium and Strontium, Narrow Triplets in Spectra of. Astrophys. Journ. **21.** 195. 1905.

17) F. A. Saunders, Series in the spectra of calcium, strontium and barium. Astrophys. Journ. **32.** 153—178. 1910.

18) F. A. Saunders, Single-line series in the spectra of Ca and Sr. Phys. rev. **30.** 270. 1910.

19) H. Randall, Annalen d. Physik **33.** 739. 1910.

20) B. Dunz, Bearbeitung unserer Kenntnisse von den Serien. Dissert. Tübingen 1911.

21) J. M. Eder u. E. Valenta, Wellenlängen im roten Bezirk der Funkenspektren. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien **118.** 2a. 511—524. 1909.

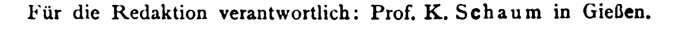
22) J. M. Eder u. E. Valenta, Wellenlängenmessungen im sichtbaren Bezirk der Funkenspektren. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien **118.** 2a. 1077—1100. 1909.

23) F. Exner u. E. Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck. Leipzig, bei Deuticke, 1911. Bogen.

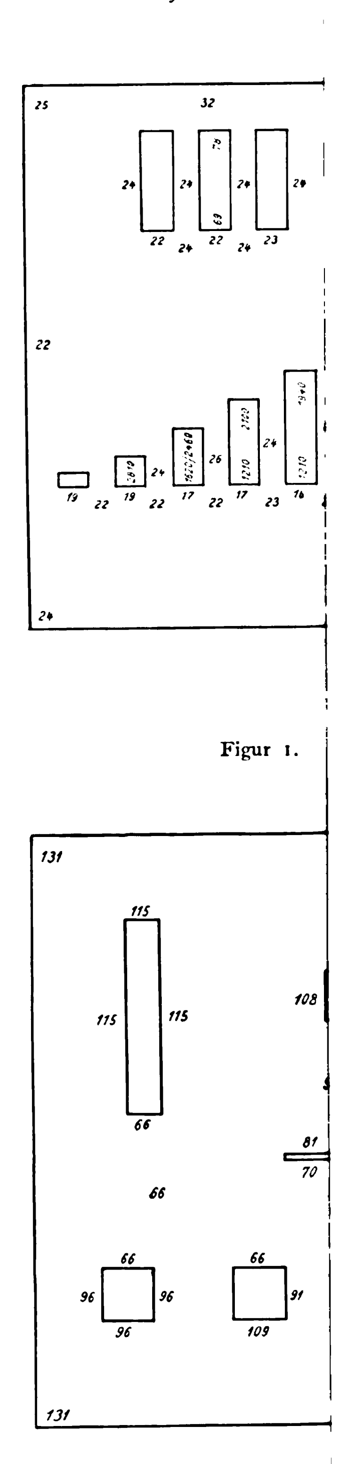
24) F. Exner u. E. Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck. Leipzig, bei Deuticke, 1912. Funken.

25) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie, Bd. V. 235—263. 1910.

26) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie, Bd. II. 514.



Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Gießen.




Figur 1.

Figur 4.

# Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1914. Heft 11.


## Die Sabatiersche Bildumkehrung.


Von

Erich Stenger.


(Mit 6 Figur.)

Sabatier beobachtete,[1]) „daß ein negatives Bild auf einer nassen Kollodiumplatte sich in ein Positiv verwandelt, wenn während der Entwicklung des Negatives plötzlich das Tageslicht darauffällt; das Negativ hört sofort auf, sich weiter zu entwickeln, es kehrt sich um, und nach kaum einer Minute geht es in ein vollständiges Positiv über".

In einer Folge quantitativer Untersuchungen[2]) der photographischen „Umkehrverfahren" auf praktische Brauchbarkeit beschäftigte ich mich mit der Sabatierschen Umkehrung.[3]) Von den dem Phänomen gewordenen Erklärungen seien folgende erwähnt.

Seely[4]): „Der Beginn der Entwicklung ist oberflächlich und nur dort, wo das Licht einen Eindruck hinterlassen hat; über die belichteten Teile legt sich ein Häutchen von metallischem Silber, welches halb undurchsichtig ist, so daß, wenn die Platte dem zerstreuten Licht ausgesetzt ist, das bereits abgelagerte Silber als Schutz dient, während an anderen Teilen die Schicht freiliegt, um den neuen Eindruck des Lichtes aufzunehmen. Da der Eindruck kräftiger ist, als der erste, so findet die Entwicklung daselbst statt, d. h. in den Schatten". Diese recht plausible Erklärung fußt auf einer Kopierwirkung des ersterhaltenen und entwickelten Lichteindrucks. Ihr schlossen sich Eder, H. W. Vogel und viele andere an.

F. Stolze[5]) beobachtete eine wohl identische Erscheinung bei Gelatineplatten und führte sie auf die gerbende Eigenschaft des Pyrogallolentwicklers zurück: „Belichtete Stellen der Emulsionsplatte werden durch den Pyrogallushervorrufer stark gegerbt und saugen





infolge dessen weniger Flüssigkeit auf. Diese Wirkung ist aber zunächst eine Oberflächenwirkung; wo daher die alleräußerste Schicht auf diese Weise schwerer durchdringlich geworden ist, dauert es viel länger, ehe die darunter befindlichen Lagen ein genügendes Quantum Hervorrufer aufsuchen können, um die Reduktion des belichteten Bromsilbers einzuleiten. In dem Maße dagegen, als die Belichtung schwächer war, dringt der Entwickler schneller durch und beginnt, falls von der Rückseite her eine Belichtung stattgefunden hatte, hier die Reduktion des Bromsilbers, so auf diesem Wege ein Positiv erzeugend, welches dann an den von vorne fast gar nicht belichteten Stellen sich von hinten her durch und durch entwickelt, bevor noch in den hellsten Lichtern die Hervorrufung bis aufs Glas gedrungen ist." Diese Mitteilung ist wichtig, weil sie den ersten Hinweis enthält, daß die zweite Belichtung von der Glasseite her erfolgen kann. Auch Peat Millar[6]) belichtete mit Erfolg von der Glasseite her.

A. P. H. Trivelli[7]) beschäftigte sich eingehend mit der Sabatierschen Bildumkehrung. Er hat, dem Rate von P. H. Eykman folgend, die sekundäre Belichtung von der Glasseite her vorgenommen, um zu untersuchen, in welchem Grade bei dieser Bildumkehrung die kopierende Wirkung durch das schon entwickelte Bild mitwirkt, und gefunden, daß sie höchstens eine sehr untergeordnete Rolle spielt. Die Entstehung des umgekehrten Bildes kann nach Trivelli nur auf „einer Aufhebung der weiteren Entwicklungsfähigkeit des entwickelten Bildes und einer Zunahme der Entwicklungsfähigkeit des darunter liegenden Bromsilbers oder einer geringeren Zunahme in der Schwärzung des entwickelten Bildes und einer stärkeren des darunter liegenden Bromsilbers" beruhen. An späterer Stelle[8]) schreibt Trivelli: „Die Übereinstimmung der Sabatierschen Polarisation[9]) mit dem Solarisationsphänomen tritt noch stärker in den Vordergrund, wenn man bedenkt, daß die Polarisation desto besser auftritt, je kräftiger die primäre Belichtung stattfindet. Umgekehrt, wenn man der Platte im voraus eine kräftige diffuse Belichtung gibt, danach eine tüchtige Bildbelichtung, bekommt man auch eine polarisierte Kopie. Dies ist die sogenannte Zeroplatte. Da die kopierende Eigenschaft des entwickelten Bildes (bei der zweiten Belichtung, D. V.) ganz außer acht gelassen werden kann, muß dasselbe Phänomen auch auftreten, wenn die sekundäre diffuse Belichtung auch stattfindet, bevor die Platte in den Entwickler gelegt wird. Das findet auch

wirklich statt. Wir können also aus diesen Erscheinungen in Verbindung mit der Vorstellung der Bildform vorläufig schließen, daß die Sabatiersche Polarisation eine Solarisationserscheinung ist, welche hierbei nur in anderer Form zustande kommt." Soweit Trivelli, auf dessen Ergebnisse wir später zurückkommen werden, und der auch an vorstehender Stelle schon auf eine Unstimmigkeit hinweist (partielles Verschwinden des Bildes durch eine schwächere Belichtung während des Entwickelns). An späterer Stelle[10]) gibt Trivelli folgende Erklärung der Sabatierschen Bildumkehrung: „Die Verringerung der Entwicklung kann nur eine Abnahme der Entwicklungsgeschwindigkeit sein, was einer starken Verringerung, wenn nicht völligem Fehlen von Nährsubstanz zuzuschreiben ist. Die gegebene Theorie der sogenannten chemischen Entwicklungsmethode[11]) zeigt, daß das Silbersubhaloid eine geringere Löslichkeit im Entwickler besitzt, als das Silberhaloid. Darum kann das schneller in Auflösung gehende Silberhaloid nach der Reduktion sich auf den Keim niederschlagen, der an seiner Stelle noch unverändert bleibt. Sobald also die sekundäre Belichtung intensiv stattfindet, wird die Nährsubstanz mit Subhaloid umhüllt werden, wodurch also die Entwicklungsgeschwindigkeit verlangsamt wird. Dies wird im Entwickler noch schneller geschehen, weil dieser eine halogenabsorbierende Substanz ist. Wir haben es also hier mit einem Phänomen zu tun, das im Wesen keine Solarisation ist, obwohl es oberflächlich betrachtet damit viel Ähnlichkeit zeigt." Trivelli kommt also im Verlaufe seiner umfangreichen Arbeit dazu, die zuerst dem Sabatierschen Phänomen gegebene Solarisationserklärung zu berichtigen.

Auch Lüppo-Cramer[12]) nahm Stellung zur Bildentstehung nach Sabatier. Nach ihm ist die Kopierwirkung bei der (zweiten) Belichtung von der Schichtseite her nicht die einzige Ursache der Sabatierschen Umkehrung. Bei der Entwicklung (des ersten Bildes) entsteht nicht reines Silber, sondern eine Adsorptionsverbindung von Silber mit Bromsilber. Die anentwickelten Stellen werden mit zunehmender Silbermenge weniger lichtempfindlich; die Schicht ist nach Maßgabe des bei der ersten Belichtung gebildeten, unlöslich adsorbierten Silbers weniger empfindlich gegen die sekundäre Belichtung geworden.

Ich habe versucht, die Sabatiersche Bildumkehrung nach Möglichkeit zu analysieren, indem ich danach strebte, die durch die zweifache Belichtung in der Platte ausgelösten Vorgänge einzeln zu

verfolgen. Nachdem ich durch zahlreiche Vorversuche Bedingungen ermittelt hatte, die zu praktisch brauchbaren Umkehrungen mit Sicherheit führten, arbeitete ich einige quantitative Versuchsreihen aus (keine ist zur Erreichung besserer Resultate wiederholt worden, sondern die Ergebnisse verliefen sofort einwandfrei in dem von mir erwarteten Sinne), mit welchen ich im folgenden den Beweis führen werde, daß

die Sabatiersche Bildumkehrung und das Solarisationsphänomen

unter den von mir gewählten, zu praktisch brauchbaren Resultaten führenden Bedingungen leicht voneinander streng trennbar sind. Das Arbeiten in beiden Fällen mit gleichen Mitteln (zweimalige Belichtung, die eine als Kopierung, die andere diffus) und das erstrebte gleiche Resultat (Bildumkehrung) geben keinesfalls die Berechtigung, beide Phänomene einander gleichzusetzen; der Unterschied beider Verfahren liegt im Größenunterschied der beiden zur Bildumkehrung notwendigen Belichtungen; diese sind bei der Sabatierschen Umkehrung klein, bei der Solarisationsumkehrung mit Hilfe des Zerozustandes groß.

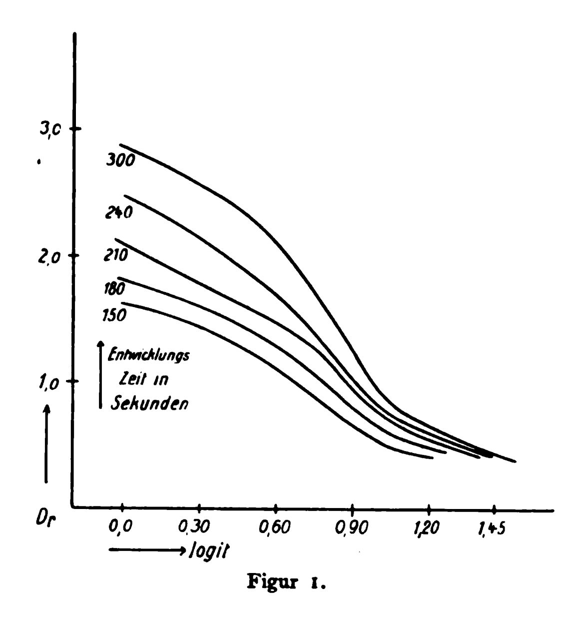
Ich will im folgenden nur Tatsachen anführen auf Grund von Messungen, die zur Aufklärung des Verlaufs der Bildentstehung nach Sabatier dienen sollen, mich aber einer Kritik der Erklärungen enthalten, die vorstehend wiedergegeben wurden, um die Entstehung der Umkehrbilder auch bei Belichtungen von der Glasseite her zu deuten.

Tabelle 1.

| Lochzahl des Photometers<br>log $it$ | 1<br>0,00 | 2<br>0,30 | 3<br>0,48 | 4<br>0,60 | 6<br>0,78 | 8<br>0,90 | 10<br>1,00 | 12<br>1,08 | 16<br>1,20 | 20<br>1,30 | 24<br>1,38 | 28<br>1,45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schwärzungen des Originalnegativs = $D_r$ | — | 0,10 | 0,30 | 0,49 | 0,73 | 1,07 | 1,42 | 1,76 | 1,98 | 2,36 | 2,96 | 3,31 |

Nach einem in einem Röhrenphotometer erhaltenen Negativ, dessen Schwärzungswerte in Tabelle 1 wiedergegeben sind (alle Messungen in Martens Polarisationsphotometer), wurde unter möglichst konstanten Arbeitsbedingungen eine Serie Duplikatnegative hergestellt. Dieser und den folgenden Versuchsreihen lagen Bedingungen zugrunde, welche praktisch brauchbare Duplikatnegative nach Sabatier lieferten. Die erste Versuchsreihe wurde so geleitet, daß die zur Erlangung brauchbarer Duplikatnegative notwendige

Entwicklungszeit erst in der 5. Versuchsstufe erreicht wurde, während die vorhergehenden Stufen kürzere Entwicklungszeiten aufwiesen unter Konstanz aller übrigen Versuchsbedingungen. Mit steigenden Entwicklungszeiten wurden je zwei Negative gleichzeitig behandelt, von welchen das eine die zweite Belichtung von der Schichtseite, das andere gleichzeitig und gleichlang von der Glasseite erhielt. Außerdem wurde unter den gleichen Bedingungen der ersten Belichtung und der Entwicklung zu jeder der gewählten steigenden Entwicklungszeiten eine weitere Platte unter dem Originalnegativ




Figur 1.

belichtet, dann entwickelt und ohne zweite Belichtung ins Fixierbad gebracht. Die genauen Angaben über die Versuchsbedingungen enthält Tabelle 2. Während die erstgenannten Versuchsplatten Duplikatnegative nach Sabatier lieferten und das Resultat der zweifachen Belichtung in ihrer Schicht vereinigten, sind die letztgenannten, nur einmal belichteten Versuchsplatten positive Kopien gleicher Entwicklungszeiten; ihre Schicht enthält nur den Effekt der ersten kopierenden Belichtung. Zieht man von den gemessenen Schwärzungswerten (der jeweilige Plattenschleier wurde bei den einzelnen Schwärzungsmessungen nicht in Abzug gebracht) der doppelt belichteten Platten — sie enthalten das positive und negative Teilbild untereinander — die Schwärzungswerte der einfach be-

Tabelle 2 (zu Figur 1 u. 2).

| Versuchsplatte Nr. | 1. Belichtungszeit in Sek., Glühlampe 16 Kerzen, Entfernung 4 m | Entwicklungszeit in Sek. bis zur 2. Belichtung | 2. Belichtungszeit in Sek., Glühlampe 200 Kerzen, Entfernung 2 m | Die 2. Belichtg. erfolgte von der Schicht- oder Glasseite | Entwicklungszeit in Sek. nach der 2. Belichtung | Gesamtentwicklungszeit in Sekunden |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 221a | 1 | — | — | — | — | 150 |
| 220 | | 120 | 1 | Schicht | 30 | |
| 221 | | | | Glas | | |
| 223a | 1 | — | — | — | — | 180 |
| 222 | | 120 | 1 | Schicht | 60 | |
| 223 | | | | Glas | | |
| 225a | 1 | — | — | — | — | 210 |
| 224 | | 120 | 1 | Schicht | 90 | |
| 225 | | | | Glas | | |
| 227a | 1 | — | — | — | — | 240 |
| 226 | | 120 | 1 | Schicht | 120 | |
| 227 | | | | Glas | | |
| 229a | 1 | — | — | — | — | 300 |
| 228 | | 120 | 1 | Schicht | 180 | |
| 229 | | | | Glas | | |

Tabelle 3 (zu Figur 3).

| Schwärzungsdifferenzen zwischen den Versuchsplatten der Tabelle 2: |
|---|
| Nr. 220 und 221a |
| Nr. 222 „ 223a |
| Nr. 224 „ 225a |
| Nr. 226 „ 227a |
| Nr. 228 „ 229a |

Tabelle 4 (zu Figur 4 u. 5).

| Versuchsplatte Nr. | 1. Belichtungszeit in Sek. Glühlampe 16 Kerzen, Entfernung 4 mm | Entwicklungszeit in Sek. bis zur 2. Belichtung | 2. Belichtungszeit in Sek., Glühlampe 200 Kerzen, Entfernung 2 m | Die 2. Belichtung erfolgte von der | Entwicklungszeit in Sek. nach der 2. Belichtung | Gesamtentwicklungszeit in Sekunden |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 270 | 1/2 | 120 | 1 | Schichtseite | 240 | 360 |
| 271 | 1 | | | | | |
| 272 | 2 | | | | | |
| 273 | 4 | | | | | |
| 276 | 1 | 120 | 1 | Schichtseite | 240 | 360 |
| 277 | | | 2 | | | |
| 278 | | | 4 | | | |
| 279 | | | 8 | | | |

## Tabelle 2.

Schwärzungen bei

log $it$ =

| 0,00 | 0,30 | 0,48 | 0,60 | 0,78 | 0,90 | 1,00 | 1,08 | 1,20 | 1,30 | 1,38 | 1,45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,60 | 1,44 | 1,25 | 1,14 | 0,87 | 0,66 | 0,52 | 0,48 | 0,44 | — | — | — |
| 1,60 | 1,51 | 1,42 | 1,36 | 1,35 | 1,42 | 1,47 | 1,51 | 1,53 | 1,53 | 1,53 | 1,53 |
| 1,59 | 1,46 | 1,29 | 1,27 | 1,27 | 1,31 | 1,39 | 1,41 | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,42 |
| 1,80 | 1,62 | 1,47 | 1,29 | 1,10 | 0,84 | 0,61 | 0,55 | 0,50 | 0,46 | — | — |
| 2,00 | 1,83 | 1,77 | 1,74 | 1,73 | 1,75 | 1,82 | 1,90 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,93 |
| 1,94 | 1,80 | 1,72 | 1,60 | 1,66 | 1,74 | 1,85 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,93 |
| 2,08 | 1,80 | 1,61 | 1,50 | 1,24 | 0,96 | 0,70 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,44 | — |
| 2,12 | 2,05 | 2,05 | 2,05 | 1,99 | 2,03 | 2,16 | 2,27 | 2,31 | 2,31 | 2,39 | 2,43 |
| 1,96 | 1,93 | 1,86 | 2,02 | 2,02 | 2,03 | 2,10 | 2,10 | 2,25 | 2,29 | 2,33 | 2,36 |
| 2,48 | 2,15 | 1,87 | 1,71 | 1,35 | 1,03 | 0,75 | 0,66 | 0,58 | 0,52 | 0,45 | 0,41 |
| 2,62 | 2,62 | 2,65 | 2,65 | 2,76 | 2,83 | 2,96 | 3,16 | 3,22 | 3,22 | 3,22 | 3,22 |
| 2,62 | 2,56 | 2,69 | 2,69 | 2,72 | 2,72 | 2,91 | 3,01 | 3,22 | 3,22 | 3,22 | 3,22 |
| 2,86 | 2,58 | 2,37 | 2,06 | 1,71 | 1,28 | 0,89 | 0,71 | 0,67 | 0,55 | 0,53 | 0,52 |
| 2,91 | 2,96 | 3,01 | 3,06 | 3,22 | 3,52 | 3,71 | 3,96 | 4,31 | 4,56 | 4,91 | 4,91 |
| 2,96 | 2,96 | 3,01 | 3,11 | 3,29 | 3,52 | 3,61 | 3,83 | 4,31 | 4,56 | 4,91 | 4,91 |

## Tabelle 3.

| Schwärzungsdifferenzen bei log $it$ = | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,30 | 0,48 | 0,60 | 0,78 | 0,90 | 1,00 | 1,08 | 1,20 | 1,30 | 1,38 | 1,45 |
| 0,00 | 0,07 | 0,17 | 0,22 | 0,48 | 0,76 | 0,95 | 1,03 | 1,09 | (1,53) | — | — |
| 0,20 | 0,21 | 0,30 | 0,45 | 0,63 | 0,91 | 1,21 | 1,35 | 1,43 | 1,47 | (1,93) | — |
| 0,04 | 0,25 | 0,44 | 0,55 | 0,75 | 1,07 | 1,46 | 1,67 | 1,76 | 1,81 | 1,95 | (2,43) |
| 0,14 | 0,47 | 0,78 | 0,94 | 1,41 | 1,80 | 2,21 | 2,50 | 2,64 | 2,70 | 2,77 | 2,81 |
| 0,05 | 0,38 | 0,64 | 1,00 | 1,51 | 2.24 | 2,82 | 3,25 | 3,64 | 4,01 | 4,38 | 4,39 |

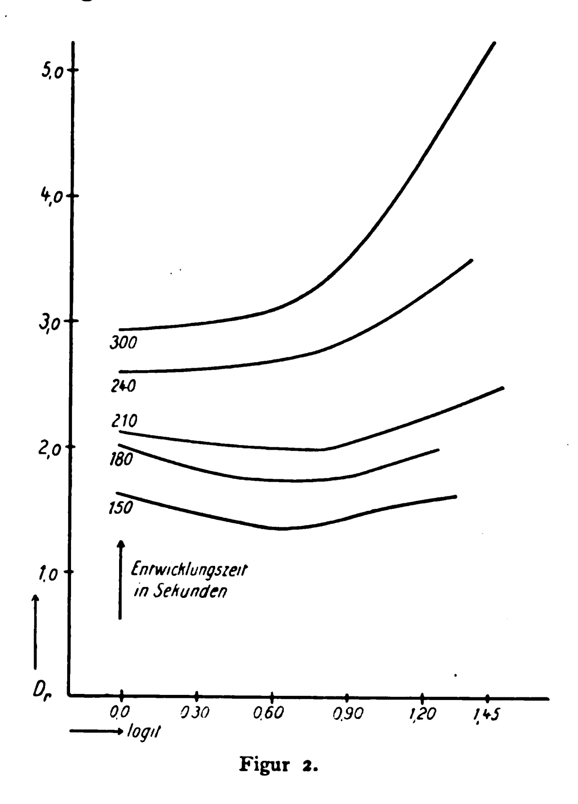
## Tabelle 4.

Schwärzungen bei

log $it$ =

| 0,00 | 0,30 | 0,48 | 0,60 | 0,78 | 0,90 | 1,00 | 1,08 | 1,20 | 1,30 | 1,38 | 1,45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,91 | 2,96 | 3,01 | 3,06 | 3,11 | 3,17 | 3,22 | 3,29 | 3,36 | 3,43 | 3,52 | 3,61 |
| 2,56 | 2,61 | 2,76 | 2,91 | 3,01 | 3.11 | 3,29 | 3,43 | 3,61 | 3,83 | 4,12 | 4,31 |
| 2,76 | 2,56 | 2,62 | 2,70 | 2,91 | 2,96 | 3,11 | 3,22 | 3,36 | 3,52 | 3,61 | 3,71 |
| 3,11 | 2,83 | 2,72 | 2,62 | 2,56 | 2,53 | 2,62 | 2,87 | 3,11 | 3,36 | 3,52 | 3,71 |
| 3,06 | 3,16 | 3,22 | 3,36 | 3,43 | 3,52 | 3,71 | 3,96 | 4,31 | 4,56 | 4,91 | 5,16 |
| 3,22 | — | 3,43 | — | — | 3,71 | — | — | — | 4,56 | — | 4,91 |
| 3,36 | — | 3,61 | — | — | 3,96 | — | — | — | 4,56 | — | 4,91 |
| 3,71 | — | 3,96 | — | — | 4,31 | — | 4,43 | — | 4,56 | — | 4,72 |

lichteten Platten gleicher Entwicklungszeit — sie enthalten nur das positive Teilbild — ab, so resultiert als Differenz alles das, was durch die zweite Belichtung entstand, und was vorher „negatives Teilbild" genannt wurde. Diese Differenzen enthält Tabelle 3. Da dieser Vergleich für wachsende Entwicklungszeiten durchgeführt wurde, läßt sich an seinen Ergebnissen der Aufbau der Sabatierschen Duplikatnegative studieren.




Figur 2.

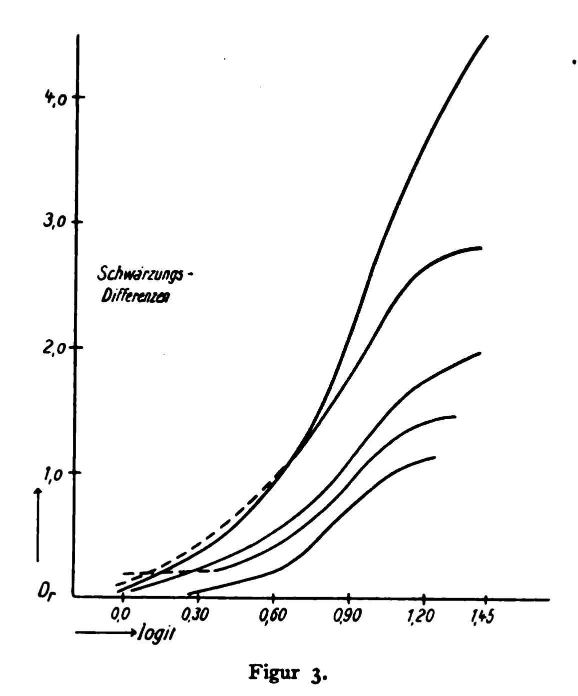
Um die Versuchsbedingungen möglichst eindeutig zu gestalten und um in den einzelnen Vergleichsplattenserien eindeutig nur je einen Punkt der Versuchsbedingungen variabel zu haben, wurden alle Platten in Rodinal 5 : 100 entwickelt.

Figur 1 enthält nach Tabelle 2 die Kurven der positiven Kopien des Originalnegativs mit wachsenden Entwicklungszeiten (Platten 221a, 223a, 225a, 227a, 229a); Figur 2 die Kurven der Duplikatnegative, bei welchen die zweite Belichtung von der Schichtseite her gewirkt hatte (Platten 220, 222, 224, 226, 228); Figur 3

die graphische Darstellung der Schwächungsdifferenzen der genannten Platten entsprechend den Werten in Tabelle 3; sie sind der Ausdruck dessen, was die zweite, bildumkehrende Belichtung bewirkte.

Die gemessenen und errechneten Schwärzungswerte, beziehungsweise die aus ihnen konstruierten Gradationskurven ergeben:

1. Es besteht kein Unterschied bei der Sabatierschen Bildumkehrung zwischen den erhaltenen Duplikaten, wenn

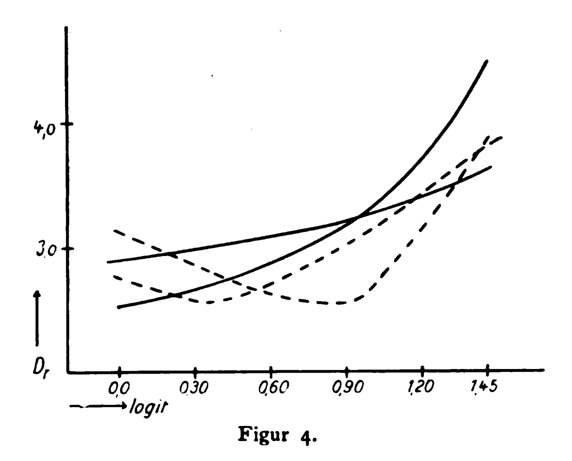



Figur 3.

die zweite Belichtung von der Schichtseite oder von der Glasseite erfolgte. Deshalb kann die Bildumkehrung nicht durch eine Kopierwirkung erklärt werden, was schon Trivelli und Lüppo-Cramer diskutierten.

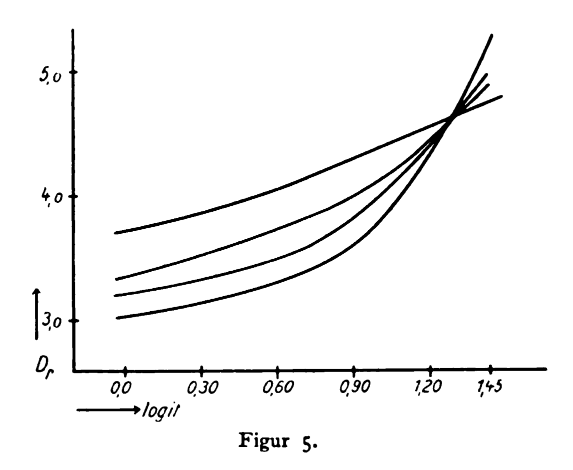
2. Die Sabatiersche Bildumkehrung beruht nicht auf dem Solarisationsphänomen. Das langsame Entstehen eines brauchbaren Duplikatnegativs ist so deutlich aus der Figur 2 zu erkennen, und die Aufteilung der einzelnen Kurven dieser Figur 2 in diejenigen der ersten Belichtung (Figur 1) und der zweiten Belichtung (Figur 3) gibt einen so klaren Einblick in die Entstehung des umgekehrten Bildes, daß von Solarisation wohl nicht mehr die

Rede sein kann. (Auf die Solarisationsähnlichkeit, die Trivelli[15]) schon besonders erwähnte, komme ich noch an späterer Stelle zu sprechen.) Die tiefgelegenen Kurven der Figur 2 zeigen deutlich




Figur 4.

den Wettstreit zwischen dem aus der ersten Belichtung (Kopierung) hervorgegangenen positiven Teilbild (Figur 1) und dem aus der zweiten (diffusen) Belichtung resultierenden negativen Teilbild (Figur 3).




Figur 5.

Erst bei verlängerter Entwicklungszeit bekommt das negative Teilbild die Überhand:

3. Bei der Bildumkehrung nach Sabatier muß nach der zweiten Belichtung lange entwickelt werden.

In zwei weiteren Versuchsreihen wurde einmal die Zeit der

ersten kopierenden Belichtung (Tabelle 4, Platten 270—273), einmal die Zeit der zweiten diffusen Belichtung (Tabelle 4, Platten 276—279) unter Konstanz aller übrigen Bedingungen variiert. Die graphischen Darstellungen sind die Figuren 4 und 5. Die erste Belichtung der Versuchsplatten verhielt sich wie

1 : 8

bei Konstanz der Entwicklung und zweiten Belichtung. Nur niedere Erstbelichtungen lieferten brauchbare Duplikate, während bei verlängerten Erstbelichtungen die zweite Belichtung nicht ausreichte, um ein das positive Teilbild überwiegendes negatives Teilbild zu schaffen. Die Kurven der Platten 272 und 273 (Figur 4) entsprechen den Kurven der Platten 220 und 222 (Figur 2); die früher durch ungenügend lange Entwicklung (nach der zweiten Belichtung) verursachte Erscheinung wird hier durch ein Mißverhältnis zwischen den Zeiten der ersten und zweiten Belichtung hervorgerufen:

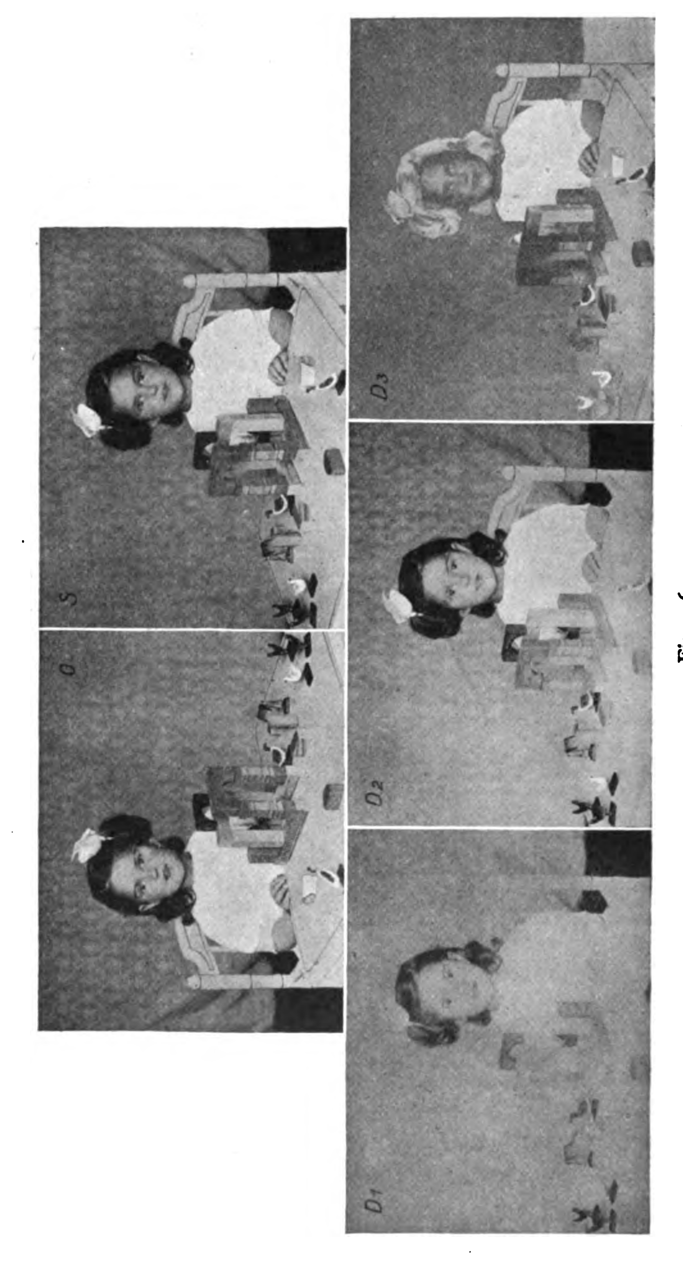
4. Die beiden Belichtungen zur Bildumkehrung nach Sabatier müssen im richtigen Verhältnis zueinander stehen. Unter den hier gewählten Versuchsbedingungen besteht nur ein verhältnismäßig geringer Spielraum der beiden Belichtungszeiten, der jedoch durch Entwicklungsverlängerung nach der zweiten Belichtung oder auch durch Entwicklermodifikationen erweitert werden kann.

Bei Konstanz der ersten kopierenden Belichtung und Variation der zweiten diffusen Belichtung im Verhältnis von

1 : 8

unter sonst übereinstimmenden Versuchsbedingungen entstanden Duplikate verschiedener Gradation (Figur 5). Die kürzeste zweite Belichtung liefert das dem Original am nächsten stehende Duplikat, auch ein Beweis der Notwendigkeit, die beiden Belichtungen aufeinander abzustimmen.

5. Im praktischen Beispiel kann eine nicht völlig gelungene Sabatiersche Bildumkehrung leicht Solarisationserscheinungen vortäuschen. Versuche an einem gewöhnlichen Negativ, bei welchem entsprechend den Bedingungen der Platten 270—273 (Tabelle 4) die Zeiten der ersten Belichtung verändert wurden, ergaben Resultate im Sinne der Kurven der Figur 4. Nach einem Originalnegativ (Kopie = *O* in Figur 6) entstanden Sabatiersche Duplikate = *D* 1 (wie Platte 270), *D* 2 (wie Platte 271), *D* 3 (wie Platte 273). Von diesen kommt *D* 2 (die Kopien sind in Figur 6




Figur 6.

*O* = Original. *S* = Duplikat durch Solarisation. *D*1, *D*2, *D*3 = Duplikate nach Sabatier.

zusammengestellt) dem Original nahe. *D* 1 ist ein flaues Duplikat, *D* 3 zeigt den Wettstreit zwischen positivem und negativem Teilbild und täuscht Solarisation einzelner Parteien vor. Es ist begreiflich, daß manche Autoren die Sabatiersche Umkehrung von dem Solarisationsphänomen nicht zu trennen vermochten, wenn sie Schlüsse aus derartigen praktischen Resultaten zogen.

Bringt man eine Platte durch diffuse Vorbelichtung in den „Zerozustand" [14]) und kopiert sie dann bei kräftigem Lichte unter einem Originalnegativ, so erhält man durch Entwicklung ein Solarisationsduplikatnegativ [15]). Man kann auch umgekehrt verfahren, indem man zuerst kräftig kopiert und dann erst diffus belichtet. Die Entwicklung folgt erst nach der doppelten Belichtung. Trivelli [16]) folgerte aus der Belanglosigkeit der Kopierwirkung bei der zweiten Belichtung im Sabatierschen Umkehrverfahren, daß das Phänomen auch eintrete, wenn die sekundäre diffuse Belichtung vor der Entwicklung der Platte stattfände. Er bestätigt dies auch, wohl nach praktischen Ergebnissen. Nach meinen Versuchen ist eine Bildumkehrung nicht möglich, wenn die beiden Belichtungen so dosiert werden, daß sie zur Umkehrung nach Sabatier genügen, und wenn nicht nach der ersten kopierenden Belichtung die Entwicklung beginnt. Die zur Sabatier-Umkehrung genügenden verhältnismäßig schwachen Belichtungen reichen bei weitem nicht aus, die zur Duplikatherstellung benutzten Platten ins Gebiet der Solarisation zu bringen. Erst wenn die kräftige diffuse Nachbelichtung einer Tageslichtkopierung (unter dem Original) von 300 Sekunden folgte, entstand ein Solarisationsduplikat, jedoch nicht auf Grund des Sabatierschen Phänomens, sondern als Solarisationsphänomen mit Hilfe des Zerozustandes der Schicht. Ein derartiges Solarisationsduplikat befindet sich in Figur 6 (Kopie mit *S* bezeichnet).

Unter den von mir gewählten Versuchsbedingungen sind beide Phänomen zweifellos leicht auseinanderzuhalten trotz der großen Ähnlichkeit der Ausführungsform, trotz der Gleichheit der Resultate und trotzdem die Sabatier-Umkehrung leicht Solarisationserscheinungen vortäuscht.

## Anmerkungen.

1) Eders Handbuch 2. 82. 1898. Dort auch geschichtliche Hinweise zu dem Verfahren, die von mir benutzt wurden.

2) Zeitschrift für Reproduktionstechnik, die Herstellung von Duplikatnegativen, die Methoden der Bildumkehrung, Seitenvertauschung und des Abziehens der Bildschicht:

I. Allgemeiner Teil S. 34. 1909.

II. Herstellung von Duplikatnegativen durch Kopieren eines vom Negativ gewonnenen Diapositivs auf eine Schicht mit durchsichtigem Schichtträger S. 98. 114. 131. 163. 1909; S. 6. 1910.

III. Die Methoden des Abziehens der Bildschicht S. 66. 84. 100. 114. 130. 149. 1910.

IV. Die Seitenvertauschung mit Hilfe von Umkehrspiegeln und Umkehrprismen S. 164. 1911.

V. Positive unter Verlust der Negative S. 114. 130. 149. 164. 178. 1913. 1914 im Erscheinen, so auch die ausführlichen Mitteilungen über die Versuche mit der Sabatierschen Bildumkehrung.

VI. Bildumkehrung durch Einstaub- und Bichromatverfahren (in Vorbereitung).

3) Sowohl Lüppo-Cramer, wie auch Trivelli traten für die Benennung nach dem ersten Beobachter ein.

4) Am 9. Januar 1850 in einer Sitzung der amerikanischen Gesellschaft; Americ. Journ. 2. 252. 1860. Kreutzers Zeitschr. f. Phot. 3. 49. 1851.

5) Photogr. Wochenblatt S. 229. 1881.

6) The Photogr. Monthly S. 277. 1907; Photogr. Kunst S. 284. 1907/1908.

7) Zeitschr. f. wiss. Phot. 6. 211 ff. 1908.

8) Ebenda S. 238.

9) Trivelli nennt die direkte Erzeugung positiver Kopien nach Positiven und negativer Kopien nach Negativen Polarisation, derartige Kopien polarisierte Kopien (ebenda S. 198).

10) Ebenda S. 287.

11) Ich verweise auf die ausführliche Originalarbeit Trivellis an genannter Stelle.

12) Photogr. Industrie S. 1285. 1911; auch Photogr. Korrespondenz S. 128 u. f. 1910.

13) Zeitschr. f. wiss. Phot. 6. 287. 1908.

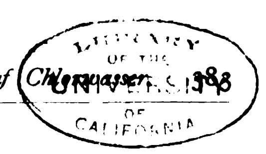
14) Photogr. Rundschau S. 253. 1900; Eders Jahrbuch S. 609. 1901; Photogr. Korrespondenz S. 130. 1910, Fußnote 5; Eders Jahrbuch S. 422. 1910.

15) Siehe hierzu die quantitativen Untersuchungen des Verfassers, Zeitschr. f. Reprod. Technik S. 184—187. 1913.

16) Zeitschr. f. wiss. Phot. 6. 238. 1908.

Berlin-Charlottenburg, Photochem. Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule, im Dezember 1913.

(Eingegangen am 1. Januar 1914.)




# Über die Einwirkung des Lichtes auf Chlorwasser.

Von

Alfred Benrath und Herbert Tuchel.

(Königsberg i. Pr., Chem. Lab. der Universität.)

Im Jahre 1785 hat Berthollet[1]) beobachtet, daß Chlorwasser, dem Lichte ausgesetzt, sich in der Weise ändert, daß Chlorwasserstoff entsteht, und Sauerstoff frei wird.

Auf diesen Beobachtungen Berthollets beruht der Versuch Saussures[2]) im Jahre 1787, ein Photometer zu konstruieren und damit die Intensität der Sonnenstrahlung auf hohen Bergen zu messen. Tatsächlich stellte er fest, daß sich auf dem Montblanc das Chlorwasser wegen der größeren Strahlungsintensität schneller umsetzt, als unter sonst gleichen Umständen im Tale.

Im Jahre 1845 veröffentlichte Draper[3]) die Resultate einiger Versuche mit Chlorwasser. Er kam dabei zu dem Ergebnis, daß die Zersetzung nur durch das Licht und nicht durch die Erhöhung der Temperatur hervorgebracht werde. Die Wärme beschleunige zwar die Wirkung, aber leite sie nicht ein.

Den Gedanken, daß Chlorwasser ein Mittel sei, photometrische Messungen auszuführen, legte auch W. C. Wittwer[4]) seinen Versuchen zugrunde, die er in einem Aufsatz „Über die Einwirkung des Lichtes auf Chlorwasser" beschreibt. Er geht dort von der Annahme aus, daß sich bei gleicher Belichtung die Menge der gebildeten Salzsäure der Stärke des Chlorwassers proportional ändere, und stellt die Reaktionsgleichung

$$ds = -s \cdot I \cdot dt$$

auf, worin $s$ die Stärke des Chlorwassers zur Zeit $t$ bedeutet, wenn $I$ die Intensität der Belichtung darstellt.

Bald nach Veröffentlichung dieser Arbeit erschien eine Abhandlung von Bunsen und Roscoe,[5]) in welcher die Richtigkeit dieser Gleichung bezweifelt wurde, die trotzdem von Wittwer[6]) als brauchbar aufrecht erhalten wurde.

Nach dem Erscheinen dieser Abhandlung ruhte das Thema längere Zeit. Die qualitative Seite der Frage wurde erst wieder im Jahre 1890 von Pedler[7]) in Angriff genommen, während 1895 Klimenko[8]) eine Reihe von quantitativen Versuchen veröffentlichte, bei denen er nicht nur reines Chlorwasser, sondern auch Chlorwasser nach Zusatz von Chlorwasserstoff und löslichen Chloriden der Lichtwirkung ausgesetzt hatte.

Schließlich erschien 1906 eine Notiz von Billitzer[9]) über die Resultate einiger Versuche mit Chlorwasser, jedoch ohne eine nähere Beschreibung der Bedingungen, unter welchen er arbeitete. Er hatte gefunden, daß die Umsetzung nicht annähernd proportional der Belichtungsstärke und -dauer fortschreite und daß Salzsäure in geringer Menge die Geschwindigkeit erhöhe.

Diese einander oft widersprechenden Angaben aufs neue experimentell zu prüfen, war der Zweck der vorliegenden Arbeit.

Wittwer, Bunsen und Klimenko operierten derart, daß sie das in Röhren gefüllte Chlorwasser nach der Belichtung titrierten. Wollten sie daher über den Gang der Zersetzung einer Lösung von bestimmter Chlorkonzentration unterrichtet sein, so mußten sie eine größere Anzahl Röhren mit Chlorlösung von derselben Konzentration füllen und nach bestimmten Zeitintervallen untersuchen.

Diese Methode aber barg erhebliche Versuchsfehler in sich: Wenn nämlich die Röhren nicht gleich weit waren, aus demselben Glase bestanden und die gleiche Wandstärke hatten, so wurde ihr Inhalt nicht von gleich großen Lichtmengen getroffen. Auch waren beim Einfüllen und Titrieren Chlorverluste nicht völlig zu vermeiden.

Von diesen Mängeln haben wir uns dadurch zu befreien gesucht, daß wir mit Hilfe einer physikalischen Methode die Konzentrationsänderung des Chlorwassers in einer einzigen Portion bestimmten, die sich in einem Gefäß befand, das während des ganzen Versuchs nicht geöffnet wurde. Als zu diesem Zwecke geeignet erwies sich die Methode, aus der Änderung der elektrischen Leitfähigkeit des Systems die Konzentrationsänderung zu berechnen. Da es sich nur um geringe Konzentrationsänderungen der Lösung handelt, so kann man sie ohne großen Fehler den Leitfähigkeitsänderungen proportional setzen.[10])

Das Arrheniussche Widerstandsgefäß, das wir anwandten, war mit einem langen eingeschliffenen Stopfen versehen. Der Inhalt betrug 23 ccm, so daß sich, da je 18 ccm Chlorwasser eingefüllt wurden, über der Flüssigkeit noch 5 ccm Luft befanden. Wie uns

verschiedene Versuche lehrten, war dies zweckmäßig, da bei geringerem Luftraum trotz Befestigung mit Bindfaden und weichem Draht der Stopfen während der Belichtung herausgedrückt wurde. Ferner war es notwendig, die obere Hälfte des Stopfens einzufetten. Nur mußte man achtgeben, daß das Fett nicht mit dem Chlorwasser in Berührung kam, da es mit diesem reagiert.

Die Messungen wurden nach der Methode von Kohlrausch mit Wechselstrom ausgeführt. Als Nullinstrument diente ein Telephon. Als Lichtquelle wurde eine für 110 Volt eingerichtete Quecksilber-Quarzlampe von Heraeus benutzt, die in einer solchen Entfernung aufgestellt wurde, daß das Meßgefäß während der Belichtung ungefähr die Temperatur von 30° C behielt, bei welcher auch die Leitfähigkeitsmessungen vorgenommen wurden. Diese Lampe sichert eine verhältnismäßig konstante Lichtintensität.

Da nicht mit Akkumulatorenstrom, sondern mit Stadtstrom gearbeitet wurde, so mußten die Schwankungen des letzteren beobachtet werden. Zu diesem Zwecke wurden drei Tage hindurch jede halbe Stunde Spannung und Stromstärke notiert und der Effekt berechnet. Es zeigte sich, daß dieser um einen Mittelwert schwankte, und daß die Abweichungen vom Mittelwert $\pm$ 7,7 % betrugen. Da sich aber die Schwankungen sehr rasch vollzogen, so kann man vermuten, daß die durch die Änderung der Lichtintensität hervorgerufenen Fehler sich bei den in Betracht kommenden, lange andauernden Belichtungszeiten rasch ausgleichen.

Es war ferner zu untersuchen, ob die Chlorlösung im Meßgefäß auf die Platinelektroden derart lösend einwirkt, daß dadurch eine stärkere Zunahme der Leitfähigkeit vorgetäuscht werden kann, als sie durch die Umsetzung des Chlorwassers verursacht wird.

Zu diesem Zweck füllten wir das Meßgefäß viermal mit je 18 ccm Chlorwasser und ließen es mit jeder Füllung ca. 24 Stunden stehen. Die so erhaltenen 72 ccm Flüssigkeit wurden auf ca. 10 ccm eingedampft und mit Schwefelwasserstoff geprüft. Der dabei entstehende Niederschlag war kaum merklich und jedenfalls so gering, daß durch die ihm entsprechenden Platinmengen kein Versuchsfehler bedingt werden konnte.

Um in dem Leitfähigkeitsgefäß, mit dem wir arbeiteten, die dem Lichte zugekehrte Oberfläche der Flüssigkeit stets zu erneuern und so für einen von Strömungen in dem Apparat unabhängigen Gang der Umsetzung zu sorgen, befestigten wir es auf einer vertikal-

gestellten Holzscheibe, die durch einen Motor um eine in derselben Höhe wie die Lampe liegende horizontale Achse gedreht wurde.

Die Chlorlösungen wurden in der Weise bereitet, daß aus einer Bombe Chlor nach dem Passieren zweier mit Wasser beschickter Waschflaschen durch ein ca. 2 cm weites und ca. 70 cm langes, an beiden Enden aufwärts gebogenes Absorptionsrohr geleitet wurde, in welchem sich die zu sättigende Flüssigkeit befand. Infolge dieser Anordnung wurde das Gas sehr schnell absorbiert. Um beim Füllen des Leitfähigkeitsmeßgefäßes Gasverluste durch Diffusion möglichst zu vermeiden, wurde die Lösung in eine Bürette gegossen, welche unten in ein enges Ausflußrohr von ca. 15 cm Länge auslief. Oben war sie durch einen mit Hahn versehenen Stopfen geschlossen. Der Inhalt betrug etwa 90 ccm.

Unregelmäßigkeiten bei den Versuchen ließen uns vermuten, daß die Chlorkonzentration in der Bürette unmittelbar nach dem Füllen ungleichmäßig sei. Die jodometrische Analyse einer Lösung ergab, daß das durch die untersten 16 ccm Flüssigkeit ausgeschiedene Jod 14,63 ccm $Na_2S_2O_3$, das durch die obersten 16 ccm ausgeschiedene dagegen 15,15 cm $Na_2S_2O_3$ erforderte. Demnach war die Chlorkonzentration oben um mehr als 3 % größer als unten. Die Erklärung dieser Erscheinung ist folgende: Die in die Bürette hineinfließende Lösung verliert um so mehr Chlor durch Diffusion, je länger der Weg ist, den sie durchläuft. Will man also eine homogene Lösung erhalten, so muß man sie nach dem Eingießen gründlich umschütteln. Um beim Ablassen der Chlorlösung aus der Bürette zur Bestimmung der Anfangskonzentration jeden Gasverlust zu vermeiden, wurde die ausgezogene Spitze direkt in die Jodkaliumlösung eingetaucht.

Zwei Möglichkeiten bestehen, um die Chlormenge zu bestimmen, welche das Leitfähigkeitsmeßgefäß unmittelbar vor der Belichtung enthält. Einerseits kann es geschehen, indem man eine ebenso große Flüssigkeitsmenge, wie sie im Meßgefäß ist, direkt aus der Bürette in Jodkaliumlösung hineinfließen läßt, andererseits, indem man nach vollendeter Umsetzung das Chlor der entstandenen Salzsäure und das nicht umgesetzte Chlor addiert, falls etwas zurückbleibt. Von der zweiten Möglichkeit macht man nur dann mit Vorteil Gebrauch, wenn entweder, wie bei reinem Chlorwasser, alles Gas verschwindet, oder nur ein so geringer Teil zurückbleibt, daß die Verluste durch Diffusion praktisch gleich Null werden.

Um zu ermitteln, wann dies geschieht, stellten wir Versuche

an, die in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben sind. Die linke Spalte gibt in Kubikzentimetern einer fast $^1/_{10}$-n. Natriumthiosulfatlösung (Fakt = 1,1) den wahren ursprünglichen Chlorgehalt, die mittlere den Gehalt, der resultierte, wenn dieselbe Chlorlösung zuerst in das Meßgefäß gefüllt, mit eingesetztem Stopfen geschüttelt und dann schnell in Jodkaliumlösung hineingeschüttet wurde. Das Schütteln mit geschlossenem Stopfen hat den Zweck, den Luftraum mit Chlor zu sättigen. Die letzte Spalte gibt den absoluten Chlorverlust an.

| Urspr. Chlorgehalt in ccm $Na_2S_2O_3$ | Chlorgehalt nach dem Schütteln des Gefäßes | Chlorverlust |
|---|---|---|
| 21,23 | 17,8 | 3,43 |
| 13,95 | 12,0 | 1,95 |
| 9,0 | 7,83 | 1,17 |
| 2,44 | 2,24 | 0,2 |
| 1,35 | 1,25 | 0,1 |

Diese Tabelle zeigt, daß die Chlorverluste durch Diffusion bei hoher Konzentration verhältnismäßig größer sind als bei niedriger und bei unserer Arbeitsweise bei ca. 1 ccm $Na_2S_2O_3$ schon praktisch verschwinden.

Arbeitet man demnach mit reinen Chlorlösungen, welche nach der Umsetzung weniger Chlor enthalten als 1 ccm $Na_2S_2O_3$ entspricht, so kann man am sichersten das vor der Bestrahlung im Meßgefäß vorhanden gewesene Chlor dadurch bestimmen, daß man das zurückgebliebene freie Chlor und dasjenige der Salzsäure nach beendeter Umsetzung addiert.

Das gilt für Chlor in verdünnter Salzsäure bis zu $^5/_{10}$-n. und in Salzlösungen bis zu $^1/_1$-n. Konzentration. Ist dieser Weg nicht gangbar, so muß man die Anfangskonzentration des Chlors direkt bestimmen. Da aber durch das Übergießen aus der Bürette in das Meßgefäß etwas Chlor verloren geht, so wurde der Chlorverlust für eine Anzahl von Konzentrationen bestimmt und der so berechnete Mittelwert bei allen Bestimmungen in Rechnung gezogen.

Nachstehende Tabelle gibt in der ersten Spalte für einige Konzentrationen den Chlorgehalt der ursprünglichen Lösung, den wir ermittelten, indem wir die Chlorlösung direkt in die Jodkaliumlösung einfließen ließen, in der zweiten Spalte den Chlorgehalt der Lösung nach dem Übergießen in das Gefäß, berechnet aus der bei der Endtitration gefundenen Menge Salzsäure, in der dritten Spalte

den Chlorverlust (alles angegeben in Kubikzentimetern der Titrierlösung) und in der vierten Spalte den prozentualen Chlorverlust.

| I | II | III | IV |
|---|---|---|---|
| 14,5 | 13,74 | 0,76 | 5,24 |
| 13,5 | 12,89 | 0,61 | 4,52 |
| 12,9 | 12,25 | 0,65 | 5,04 |
| 10,25 | 9,79 | 0,46 | 4,49 |
| 9,5 | 9,28 | 0,22 | 2,32 |
| 7,67 | 7,45 | 0,22 | 2,87 |
| 5,55 | 5,49 | 0,06 | 1,08 |

Da die von uns angewandten Anfangskonzentrationen ungefähr den Werten 2 bis 5 entsprechen, so haben wir aus diesen das Mittel zu 4 % Chlorverlust gewonnen, und demnach von dem durch direkte Titration gewonnenen Anfangswert immer 4 % subtrahiert.

Nachdem diese Vorversuche erledigt waren, verfuhren wir bei den endgültigen Bestimmungen folgendermaßen:

Morgens früh füllten wir das Leitfähigkeitsmeßgefäß mit Chlorlösung, schüttelten es tüchtig um, und setzten es dann in den Thermostaten von 30° zur Bestimmung der Leitfähigkeit. Wurde nicht geschüttelt, dann fiel zunächst das Leitvermögen vor der Lampe statt zu steigen. Dies hatte seinen Grund wohl darin, daß Chlor allmählich in den Luftraum hineindiffundierte, und infolgedessen die Konzentration der Lösung und damit auch die Leitfähigkeit abnahm.

Die Leitfähigkeit des reinen Chlorwassers ist recht beträchtlich. Jaskowskin[11]) hat schon früher beobachtet, daß Chlorwasser sich wie ein Elektrolyt verhält und zwar ist die Leitfähigkeit einer sehr verdünnten Lösung von derselben Größenordnung wie die einer Salzsäurelösung äquivalenter Konzentration. Nachdem die Leitfähigkeit bestimmt war, setzten wir das Gefäß auf der rotierenden Scheibe der Belichtung durch die Lampe aus und bestimmten nach gewissen Zeiträumen die Größe der Leitfähigkeitszunahme. Das Gefäß mußte vor jeder Messung etwa zehn Minuten lang im Dunkeln im Thermostaten gehalten werden, bis es sich genau auf 30° erwärmt hatte.

Da die Reaktion im Dunkeln nur äußerst langsam verläuft, so übte diese Unterbrechung der Belichtung auf das allgemeine Resultat keinen Einfluß aus.

Das Ende der Umsetzung war nach 24 Stunden erreicht. Die Zunahme der Leitfähigkeit kann man ohne großen Fehler als Maß

für die Zunahme der Salzsäurekonzentration ansehen.[12]) Da sich in Gegenwart von viel Salzsäure kein Chlor mehr umsetzt, so mußten wir, bevor wir über die Kinetik der Reaktion etwas Bestimmtes aussagen konnten, zunächst feststellen, ob es sich um einen umkehrbaren Prozeß im Sinne der Gleichung

$$2\,H_2O + 2\,Cl_2 \rightleftarrows 4\,HCl + O_2$$

handelt, oder ob sich aus anderen Gründen nicht alles Chlor umsetzt.

Zu diesem Zwecke füllten wir vier Reagensgläser mit je 10 Kubikzentimentern $^1/_{10}$-n., $^1/_2$-n., $^1/_1$-n. und $^{10}/_1$-n. Salzsäure, sättigten die Flüssigkeiten mit Sauerstoff und schmolzen das offene Ende zu. Nach einer Bestrahlung von ca. 72 Stunden öffneten wir sie wieder und schütteten den Inhalt in Jodkaliumlösung. Die ersten drei Flüssigkeitsmengen schieden kein Jod aus. Nur die konzentrierte Salzsäure erzeugte eine geringe Ausscheidung, die schon durch einen Tropfen Natriumthiosulfatlösung beseitigt werden konnte. Wir überzeugten uns aber, daß diese Jodabscheidung von der ursprünglich angewandten konzentrierten Säure herrührte, denn 10 ccm derselben riefen dieselbe Erscheinung in genau demselben Maße hervor, auch wenn sie nicht belichtet waren.

Demnach handelt es sich bei der Umsetzung des Chlorwassers nicht um einen umkehrbaren Prozeß.

Will man eine allgemeine Gleichung für die Reaktionsgeschwindigkeit aufstellen, so muß man sich zunächst über den Grad der Homogenität des Lichtfeldes in der Chlorlösung Klarheit verschaffen. Versuche zeigten, daß wirksame Strahlen mehrere Zentimenter in die Lösung hineindringen. Man kann also annehmen, daß das Massenwirkungsgesetz, das allerdings nur für homogenes Lichtfeld seine volle Gültigkeit hat, auf die vorliegende Reaktion angewandt werden kann.

Wenn die Reaktion bis zu Ende geht, was ja bei reinem Chlorwasser der Fall ist, so kann man also die von Wittwer abgeleitete Gleichung

$$K = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a - x}$$

direkt verwenden.[13])

Wenn aber das System schon von Anfang an Salzsäure oder Chloride in reichlicher Menge enthält, dann verwandelt sich diese Gleichung, in welcher $a$ die Anfangskonzentration des Chlors bedeutet, in die allgemeine Gleichung

$$K = \frac{1}{t} \log \frac{\xi}{\xi - x}$$

in der $\xi$ die Konzentration des überhaupt umsetzbaren Chlors darstellt. Bei reinem Chlorwasser wird

$$\xi = a.$$

Die Gültigkeit dieser Gleichungen wird durch folgende Tabellen dargetan. Darin bedeutet *m* die Zeit der Belichtung in Minuten, *l* die Leitfähigkeit der Flüssigkeit in dem Leitfähigkeitsgefäß, ausgedrückt in reziproken Ohm, und *K* die Geschwindigkeitskonstante, die unter der Voraussetzung berechnet ist, daß die Leitfähigkeitsänderung der Konzentrationsänderung proportional verläuft.

**Versuche mit reinem Chlorwasser.**

I. 0,054-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 18,35 | — |
| 9 | 18,82 | 64,4 |
| 14 | 19,10 | 66,2 |
| 34 | 20,07 | 63,8 |
| 42 | 20,47 | 64 |
| 75 | 21,78 | 59 |
| 89 | 22,75 | 59,3 |
| 163 | 25,55 | 59,4 |
| 183 | 28,38 | 60,6 |
| 280 | 30,58 | 65,8 |
| ∞ | 53,73 | — |
| | Mittel = | 62,5 |

II. 0,08-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 23,05 | — |
| 6 | 23,47 | 61,7 |
| 14 | 24,07 | 56,6 |
| 35 | 25,41 | 52,8 |
| 42 | 25,87 | 53,0 |
| 129 | 31,63 | 55,5 |
| 136 | 32,23 | 56,7 |
| 150 | 33,13 | 56,9 |
| 167 | 34,17 | 57,1 |
| 189 | 35,76 | 58,6 |
| ∞ | 79,53 | — |
| | Mittel = | 56,54 |

III. 0,113-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 25,93 | — |
| 5 | 26,47 | 66,0 |
| 10 | 26,86 | 61,6 |
| 15 | 27,94 | 63,3 |
| 25 | 30,32 | 60,6 |
| 45 | 33,54 | 65,8 |
| 73 | 40,74 | 68,5 |
| ∞ | 100,60 | — |
| | Mittel = | 64,3 |

## Versuche mit Salzsäure.

### I.

0,1-n. H Cl.
0,077-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 20,69 | — |
| 35 | 22,03 | 64,3 |
| 145 | 22,73 | 63,0 |
| 248 | 24,26 | 68,4 |
| 300 | 24,89 | 74,4 |
| 350 | 25,47 | 69,9 |
| 390 | 25,92 | 73,0 |
| ∞ | 31,94 | — |
| | Mittel = | 68,82 |

### II.

0,1-n. H Cl.
0,065-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 18,68 | — |
| 32 | 19,71 | 73,4 |
| 77 | 20,40 | 69,0 |
| 136 | 21,20 | 71,3 |
| 237 | 22,42 | 71,9 |
| 287 | 23,30 | 71,1 |
| 336 | 23,36 | 70,5 |
| 375 | 23,74 | 70,6 |
| ∞ | 29,61 | — |
| | Mittel = | 71,11 |

### III.

0,15-n. HCl.
0,073-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 13,24 | — |
| 14 | 23,41 | 62,0 |
| 49 | 23,76 | 58,9 |
| 63 | 24,00 | 68,0 |
| 115 | 24,44 | 60,8 |
| 203 | 25,19 | 55,8 |
| 282 | 25,81 | 59,2 |
| 357 | 26,40 | 60,4 |
| ∞ | 31,32 | — |
| | Mittel = | 60,87 |

### IV.

0,15-n. HCl.
0,054-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 22,91 | — |
| 21 | 23,07 | 62,4 |
| 70 | 23,43 | 60,5 |
| 156 | 23,90 | 56,0 |
| 232 | 24,34 | 57,3 |
| 304 | 24,73 | 60,6 |
| ∞ | 28,30 | — |
| | Mittel = | 59,36 |

### V.

0,2-n. HCl.
0,04-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 7,32 | — |
| 10 | 7,34 | 69,6 |
| 30 | 7,38 | 56,3 |
| 60 | 7,43 | 68,4 |
| 164 | 7,52 | 62,4 |
| 184 | 7,57 | 54,5 |
| 221 | 7,60 | 55,7 |
| 268 | 7,66 | 61,4 |
| ∞ | 8,28 | — |
| | Mittel = | 61,18 |

### VI.

0,02-n. HCl.
0,05-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 7,49 | — |
| 81 | 7,59 | 62,9 |
| 182 | 7,68 | 64,6 |
| 202 | 7,70 | 64,2 |
| 234 | 7,73 | 65,3 |
| 281 | 7,76 | 63,6 |
| ∞ | 7,95 | — |
| | Mittel = | 63,72 |

### VII.

0,25-n. HCl.
0,046-n. HCl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 9,29 | — |
| 198 | 9,42 | 70,4 |
| 334 | 9,48 | 64,0 |
| 423 | 9,53 | 68,0 |
| ∞ | 9,77 | — |
| | Mittel = | 67,6 |

### VIII.

0,25-n. HCl.
0,047-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 9,04 | — |
| 196 | 9,11 | 70,7 |
| 328 | 9,12 | 67,4 |
| 414 | 9,13 | 66,8 |
| ∞ | 9,29 | — |
| | Mittel = | 67,7 |

IX.

0,3-n. HCl.
0,081-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 10,92 | — |
| 49 | 10,94 | 68,3 |
| 106 | 10,97 | 65,7 |
| 215 | 11,00 | 60,6 |
| 335 | 11,40 | 63,8 |
| 475 | 12,09 | 60,6 |
| ∞ | 13,71 | — |
| | Mittel = | 63,8 |

Bei drei weiteren Versuchen mit schwächerer Chlorkonzentration und 0,3-n. HCl konnte infolge zu geringer Umsetzung keine Konstante festgestellt werden. Ebenso ging es mit einer Lösung von 0,4-n. HCl, und bei 0,5-n. HCl trat überhaupt keine Umsetzung mehr ein. Aus den obigen Tabellen ersehen wir, daß die Mittel der Geschwindigkeitskonstanten sich nur wenig voneinander unterscheiden, falls nicht mit zu geringer Chlorkonzentration gearbeitet wird. In diesem Falle liegen sie höher.

Um zu ermitteln, welches Konzentrationsverhältnis nach vollendeter Umsetzung zwischen der Salzsäure und dem Chlor besteht, falls nicht alles umgesetzt wird, stellten wir die folgenden Versuche an. In Glasröhren, die an beiden Enden ausgezogen waren, ähnlich denen, die schon von Bunsen gebraucht wurden, schlossen wir je 20 ccm Chlorwasser ein, dem wechselnde Mengen Salzsäure beigemischt waren. Die Röhren füllten wir in der Weise, daß wir das untere ihrer ausgezogenen Enden durch ein enges U-Rohr mit der Bürette verbanden, feststellten, eine wie große Flüssigkeitsmenge in das Verbindungsrohr hineinging und darauf diese Menge plus der erforderlichen aus der Bürette ablaufen ließen. Handelte es sich nun darum, die Chlorlösung schon vorher mit Salzsäure zu versetzen, dann wurden Lösungen wechselnder Konzentration in der Weise hergestellt, daß mit Chlor gesättigte normale Salzsäure in dem Belichtungsrohr mit den geeigneten Wassermengen verdünnt wurde. Größer als 0,5-normal wurde die Säurekonzentration nicht gewählt, da sich dann das Chlor nicht mehr umsetzt.

Mit Lösungen jeder Konzentration wurden zwei Parallelversuche angestellt. Nur dann wurde ein Wert adoptiert, wenn der eine der Parallelversuche nach achttägiger Belichtung denselben Chlorgehalt lieferte wie der andere nach sechstägiger.

Nachstehende Tabelle gibt in Kubikzentimetern einer $^1/_{10}$-Normallösung in der ersten Spalte das vor dem Versuche vorhandene Gesamtchlor, berechnet als Summe des freien Chlors und des Chlors der zugesetzten Salzsäure, in der zweiten dasjenige der nach dem Versuch vorhandenen Salzsäure, und in der dritten das nicht umgesetzte freie Chlor.

| Ursprüngliches Chlor | Umgesetztes Chlor | Zurückbleibendes Chlor |
|---|---|---|
| 20,17 | 20,17 | 0,00 |
| 21,32 | 21,32 | 0,00 |
| 22,4 | 22,4 | 0,005 |
| 26,43 | 26,4 | 0,03 |
| 34,30 | 34,05 | 0,25 |
| 44,7 | 43,8 | 0,9 |
| 54,83 | 54,1 | 1,73 |
| 65,85 | 63,15 | 2,7 |
| 76,95 | 72,8 | 4,15 |
| 88,00 | 81,45 | 6,55 |
| 99,05 | 90,05 | 9,00 |

Aus der Tabelle ersieht man, daß bei wachsendem ursprünglichem Chlorgehalt die Konzentration des zurückbleibenden Chlors relativ schneller zunimmt, als diejenige der entstandenen Salzsäure.

## Versuche mit Chloridlösungen.

I.

0,2-n. NaCl.
0,088-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 62,86 | — |
| 16 | 63,76 | 68,0 |
| 20 | 64,28 | 60,9 |
| 29 | 64,94 | 61,2 |
| 45 | 66,00 | 59,8 |
| 63 | 67,37 | 54,0 |
| 122 | 70,82 | 60,5 |
| 146 | 72,69 | 61,9 |
| 252 | 77,97 | 66,1 |
| 267 | 80,71 | 71,6 |
| 347 | 86,23 | 73,9 |
| ∞ | 115,00 | — |
| | Mittel = | 63,79 |

II.

0,4-n. NaCl.
0,066-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 37,91 | — |
| 10 | 38,11 | 61,9 |
| 20 | 38,33 | 62,3 |
| 35 | 38,72 | 69,4 |
| 74 | 39,54 | 66,5 |
| 201 | 42,25 | 74,8 |
| 258 | 43,42 | 78,2 |
| ∞ | 46,96 | — |
| | Mittel = | 68,71 |

### III.

0,6-n. NaCl.
0,064-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 22,92 | — |
| 28 | 23,13 | 83,9 |
| 50 | 23,35 | 91,9 |
| 95 | 23,69 | 94,4 |
| 103 | 23,76 | 96,3 |
| 113 | 23,82 | 97,9 |
| 166 | 24,17 | 95,6 |
| 243 | 24,66 | 99,1 |
| 290 | 24,91 | 95,5 |
| ∞ | 27,09 | — |

Mittel = 95,5

### IV.

0,8-n. NaCl.
0,065-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 16,33 | — |
| 61 | 16,55 | 103 |
| 103 | 16,68 | 103 |
| 241 | 16,84 | 118 |
| 279 | 17,16 | 108 |
| 301 | 17,26 | 113 |
| 334 | 17,31 | 118 |
| 419 | 17,45 | 117 |
| ∞ | 17,96 | — |

Mittel = 111,42

### V.

1,0-n. NaCl.
0,063-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 19,32 | — |
| 43 | 19,43 | 108 |
| 74 | 19,71 | 116 |
| 130 | 19,88 | 120 |
| 176 | 20,01 | 119 |
| 217 | 20,08 | 114 |
| 252 | 20,14 | 111 |
| 310 | 20,23 | 105 |
| ∞ | 20,95 | — |

Mittel = 113

### VI.

1,0-n. KCl.
0,066-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 25,09 | — |
| 143 | 25,76 | 123 |
| 173 | 26,11 | 120 |
| 254 | 26,34 | 121 |
| 286 | 26,39 | 119 |
| 390 | 26,62 | 128 |
| 424 | 26,67 | 121 |
| ∞ | 27,13 | — |

Mittel = 122

### VII.

1,0-n. $CaCl_2$.
0,069-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 18,51 | — |
| 43 | 18,82 | 122 |
| 69 | 18,92 | 120 |
| 132 | 19,05 | 114 |
| 244 | 19,14 | 112 |
| 296 | 19,40 | 115 |
| 369 | 19,51 | 116 |
| 420 | 19,99 | 111 |
| ∞ | 20,09 | — |

Mittel = 116

### VIII.

1,0-n. $SrCl_2$.
0,064-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 16,49 | — |
| 32 | 16,59 | 71,8 |
| 82 | 16,67 | 76,0 |
| 123 | 16,73 | 85,4 |
| 226 | 16,82 | 83,7 |
| 256 | 17,05 | 84,0 |
| 330 | 17,16 | 81,8 |
| 360 | 17,21 | 85,2 |
| 378 | 17,23 | 83,9 |
| ∞ | 17,67 | — |

Mittel = 81,5

IX.

1,0-n. $BaCl_2$.
0,069-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 19,10 | — |
| 30 | 19,19 | 59,8 |
| 60 | 19,25 | 58,2 |
| 90 | 19,34 | 57,2 |
| 176 | 19,53 | 61,5 |
| 216 | 19,58 | 56,0 |
| 256 | 19,69 | 56,6 |
| 276 | 19,82 | 69,0 |
| 344 | 19,93 | 66,1 |
| ∞ | 21,44 | — |
| | Mittel = | 60,5 |

X.

1,0-n. $MgCl_2$.
0,067-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 16,87 | — |
| 20 | 16,90 | 72,7 |
| 96 | 17,04 | 79,2 |
| 126 | 17,08 | 76,5 |
| 186 | 17,16 | 76,9 |
| 218 | 17,91 | 75,9 |
| 249 | 18,14 | 76,2 |
| ∞ | 18,74 | — |
| | Mittel = | 76,2 |

Die nachstehende Tabelle gibt das Mittel aus den Geschwindigkeitskonstanten der Umsetzung in den normalen Salzlösungen.

| | |
|---|---|
| KCl | 122,5 |
| NaCl | 113 |
| $CaCl_2$ | 116 |
| $SrCl_2$ | 81,5 |
| $BaCl_2$ | 60,5 |
| $MgCl_2$ | 76,2 |

Während die Differenz zwischen den Werten von KCl und NaCl innerhalb der Versuchsfehler, die man zu 10 % annehmen muß, liegt, steigt die Konstante zweifellos vom $BaCl_2$ über $SrCl_2$ zum $CaCl_2$. Auch scheint, wie aus den Versuchen I bis V hervorgeht, die Konstante mit steigender Salzkonzentration zu steigen.

Um das Verhältnis zu ermitteln, in welchem die Chloride die vollständige Umsetzung des Chlors verhindern, wurden in der schon bei den Versuchen mit Salzsäure beschriebenen Weise, 20 ccm einer 0,75-n. Lösung jedes Salzes, dem gleiche Chlormengen beigemischt waren, die 7,35 ccm 0,1-n. Thiosulfatlösung entsprachen, in Röhren eingeschlossen. Die Bestrahlung dauerte auch hier etwa 8 Tage. Die nachstehende Tabelle gibt das nicht umgesetzte Chlor in Kubikzentimetern einer $^1/_{10}$-n. Lösung.

| | |
|---|---|
| NaCl | 0,92 |
| KCl | 0,87 |
| $BaCl_2$ | 1,1 |
| $SrCl_2$ | 0,92 |
| $CaCl_2$ | 0,53 |
| $MgCl_2$ | 1,03 |

Hiernach steigt die die Umsetzung des Chlors verhindernde Wirkung einerseits vom Kalium- zum Natriumchlorid und andererseits vom Calcium über das Strontium zum Bariumchlorid, was den Angaben Klimenkos[14]) gerade entgegengesetzt ist. Vergleicht man die Tabelle mit der vorhergehenden, so erkennt man, daß, je größer innerhalb dieser beiden Gruppen die Geschwindigkeitskonstante ist, eine desto größere Chlormenge umgesetzt wird.

Ähnlich wie die Konzentration der Salzsäure hat auch diejenige der Salzlösungen Einfluß auf die Menge des umsetzbaren Chlors. Ein Versuch, der diese Verhältnisse klarlegen sollte, wurde mit Lösungen von Chlornatrium angestellt. Ebenso wie bei den oben beschriebenen Versuchen wurden je 20 ccm Flüssigkeit belichtet, deren Chlorgehalt, nahezu konstant, durch 14,17 bis 14,47 ccm Thiosulfat titrierbar war, und deren Chlornatriumgehalt von 0,5- bis 0,9-normal stieg.

Die nachstehende Tabelle gibt in der ersten Spalte die Normalität der Salzlösung, in der zweiten die Menge des nicht umgesetzten und in der dritten die Menge des umgesetzten Chlors in Kubikzentimetern einer $^1/_{10}$-Normallösung.

| I | II | III |
|---|---|---|
| 0,5 | 1,52 | 12,65 |
| 0,6 | 2,23 | 12,01 |
| 0,7 | 3,01 | 11,40 |
| 0,75 | 3,53 | 10,88 |
| 0,8 | 4,10 | 10,22 |
| 0,9 | 4,52 | 9,95 |

Die Menge des nicht umgesetzten Chlors steigt also nahezu proportional der Menge des ursprünglich vorhandenen Chlornatriums. Schließlich war es von Interesse, zur Charakterisierung der Reaktion den Temperaturkoeffizienten zu bestimmen. Zu diesem Zwecke legten wir um das Meßgefäß den Mantel eines Kühlers und ließen die Umsetzung so vor sich gehen, daß einmal der Kühler mit Wasser von 30°, ein anderes Mal mit solchem von 5° gespeist wurde. Die Versuche geschahen mit reinem Chlorwasser.

I.

Temperatur 30° C.
0,083-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 22,31 | — |
| 40 | 24,69 | 52,1 |
| 77 | 27,02 | 52,0 |
| 99 | 29,94 | 58,3 |
| 131 | 30,88 | 58,8 |
| 165 | 32,66 | 57,3 |
| 195 | 34,54 | 57,6 |
| 230 | 36,58 | 59,0 |
| 262 | 38,72 | 53,6 |
| ∞ | 75,49 | — |
| | Mittel = | 56,1 |

II.

Temperatur 5° C.
0,065-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 20,02 | — |
| 30 | 20,77 | 26,7 |
| 60 | 21,62 | 26,3 |
| 110 | 22,19 | 25,0 |
| 170 | 23,90 | 25,7 |
| 246 | 24,18 | 26,7 |
| 300 | 26,56 | 22,7 |
| 358 | 27,65 | 18,4 |
| ∞ | 60,84 | — |
| | Mittel = | 25,2 |

Der Temperaturunterschied der beiden obigen Versuche beträgt also 25° C. Der Temperaturkoeffizient für 10° berechnet sich demnach nach der Gleichung

$$b = a(1 + \alpha)^{2.5},$$

in welcher $a$ die Konstante bei 5°, $b$ diejenige bis 30° und $\alpha$ den gesuchten Temperaturkoeffizienten bedeutet, zu 1,377. Zur Kontrolle machten wir zwei ähnliche Versuche ebenfalls mit reinem Chlorwasser.

I.

Temperatur 30° C.
0,09-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 27,04 | — |
| 25 | 28,49 | 53,4 |
| 50 | 29,93 | 52,2 |
| 75 | 31,59 | 53,7 |
| 100 | 33,12 | 56,8 |
| 125 | 34,87 | 59,0 |
| 150 | 36,65 | 58,6 |
| 200 | 39,92 | 57,9 |
| ∞ | 81,23 | — |
| | Mittel = | 55,94 |

II.

Temperatur 5° C.
0,098-n. Cl.

| *m* | *l* | *K* |
|---|---|---|
| 0 | 24,26 | — |
| 21 | 24,58 | 29,9 |
| 43 | 25,96 | 28,1 |
| 115 | 27,88 | 21,0 |
| 137 | 28,60 | 21,5 |
| 181 | 29,74 | 21,3 |
| 225 | 31,03 | 21,1 |
| 247 | 31,94 | 21,5 |
| ∞ | 83,37 | — |
| | Mittel = | 23,48 |

Aus diesen Werten berechnet sich der Temperaturkoeffizient zu 1,413. Als Mittel der beiden Koeffizienten ergibt sich 1,395. Die Reaktion gehört demnach zu der dritten der von Plotnikow[15]) aufgestellten Klassen photochemischer Reaktionen.

## Zusammenfassung.

I.

Da das Lichtfeld unter den in Betracht kommenden Versuchsbedingungen in reinem Chlorwasser nicht in hohem Maße inhomogen ist, so hat die Wittwersche Gleichung

$$K = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a - x}$$

Gültigkeit.

II.

Enthält die Lösung von Anfang an Chlorionen in bestimmter Konzentration, so wird nicht alles Chlor umgesetzt. Es handelt sich aber nicht um eine umkehrbare Reaktion im Sinne der Gleichung

$$2\,H_2O + 2\,Cl_2 = 4\,HCl + O_2,$$

sondern wahrscheinlich um die Bildung eines komplexen Ions, etwa $Cl_3'$, welches bei genügender Chlorionenkonzentration nicht weiter zersetzt wird. Dann hat die Gleichung

$$K = \frac{1}{t} \ln \frac{\xi}{\xi - x}$$

Gültigkeit.

III.

Der Temperaturkoeffizient der Reaktion beträgt 1,395.

## Anmerkungen.

1) Histoire de l'Academie Royale des Sciences. Paris 1785 S. 290. Lichtenbergs Magazin IV, S. 2, 40.

2) „Effets chimiques de la lumière sur une haute montagne comparés avec ceux qu'on observe dans les plaines." Memoires de l'Academie de Turin 1790 IV S. 441. — Crells Chemische Annalen, 1796. I, 356.

3) Phil. mag. XXVII 327.

4) Pogg. Ann. **94.** 597. 1855.

5) Pogg. Ann. **96.** 374—394. 1855.

6) Pogg. Ann. **97.** 304. 1856. — Suppl. **4.** 63. 1865.

7) Soc. **5.** 613. 1890.

8) B. **28.** 2558. 1895.

9) Ch. Z. **1906.** 1133.

10) Benrath, Ann. d. Ch. 382, 231. 1911.

11) B. **30.** 518. 1897.

12) Benrath, Ann. 382, 231. 1911.

13) Nernst, Theor. Ch. 7. Aufl. 1912 S. 817.

14) loc. cit.

15) Ph. Ch. **78.** 573. 1913.

Eingegangen am 14. Dezember 1913.

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Gießen.

Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie

XIII. Band. 1914. Heft 12.

## Das Bogen- und Funkenspektrum des Kupfers nach internationalen Normalen.

Von

Karl Hasbach.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchungen wurden auf gütige Anregung von Herrn Geheimen Regierungsrat Prof. Dr. H. Kayser hin im Physikalischen Institut der Universität Bonn ausgeführt.

Als Spektralapparat diente mir ein großes Rowlandsches Konkavgitter von 6,34 m Krümmungsradius. Die Untersuchungen wurden in der bekannten, in Bonn üblichen Weise vorgenommen. Bei den Aufnahmen des Bogenspektrums diente als Lichtquelle eine Bogenlampe, in die ich nach Bedarf zwei metallische Kupferstäbe von etwa 8—10 mm Durchmesser oder zwei Eisenstäbe von etwa demselben Durchmesser einspannen konnte. Zur Erzeugung des Kupfer- und Eisenbogens benutzte ich den städtischen Strom von 220 Volt bei etwa 6 Amp. Intensität. Nur in dem langwelligen Teil von 4900 aufwärts steigerte ich die Intensität auf etwa 9 Amp., um die Belichtungszeit abzukürzen und so einen durch Verschiebung hervorgerufenen Fehler möglichst zu eliminieren. Der Bogen hatte zumeist eine Länge von etwa $1^1/_4$—$1^1/_2$ cm, nur im Ultraviolett unterhalb 2400 mußte ich den Bogen bis auf nahezu 2 cm in die Länge ziehen, da sonst infolge des geringen Astigmatismus die Linien auf der Platte zu schwach wurden. Die Belichtungsdauer mit dem Kupferbogen lag zwischen 10 Minuten und $2^1/_2$ Stunden.

Als Material im Funken benutzte ich zwei doppelte umeinander gedrehte Kupferdrähte, die ich an den Enden etwas zuspitzte; zwischen ihnen sprang der Funken recht konstant über. Hier be-

nutzte ich den einer großen Wechselstrommaschine entnommenen Strom von 160 Volt, den ich durch einen Resonanzinduktor in einen Hochspannungsstrom von etwa 30000 Volt transformierte. Die Entfernung der Elektroden betrug etwa 7 mm.

Als Normalen dienten stets die Linien des Eisenspektrums in derselben Ordnung, in der das Kupferspektrum erhalten wurde und zwar oberhalb 4282 das Mittel aus den von Buisson und Fabry und den von Eversheim und Pfund gefundenen Werten; unterhalb 4282 die Eisennormalen von Buisson und Fabry. Um sicher vor Verschiebung des Kupferspektrums gegen das Eisenspektrum zu sein, machte ich bei etwa jeder zweiten Stellung, besonders dort, wo starke Kupferlinien liegen, gleichzeitige Aufnahmen des Kupfer- und Eisenspektrums, indem ich einen Kupfer- und einen Eisenstab in die Bogenlampe spannte und die Stromrichtung mehrere Male während der Aufnahme änderte. Die Platten mit gleichzeitiger Eisen- und Kupferbelichtung dienten mir als Normalplatten. Eine wesentliche Verschiebung fand ich nur auf einigen Platten des langwelligen Teiles des Spektrums, besonders bei den Aufnahmen von 5000—5600 A.-E. in zweiter Ordnung.

## Tabellen.

In der ersten Tabelle gebe ich neben meinen Messungen des Bogenspektrums diejenigen von Kayser und Runge und die neuesten Messungen von Exner und Haschek an; beide nach Rowlandschem System, so daß also ein direkter genauer Vergleich leider nicht möglich ist. An diese Tabelle schließt sich die Angabe der im Bogen gefundenen Verunreinigungen.

Die zweite Tabelle enthält zum Vergleich mit dem von mir gemessenen Funkenspektrum die Messungen von Eder und Valenta und Exner und Haschek im Rowlandschen System und zwei neuere Messungen von Aretz im langwelligen Teil und von Eder im Ultraviolett im neuen internationalen System. Da letzterer als Normalen die in der Tabelle mit * bezeichneten Kupferlinien benutzte, so können seine Messungen natürlich mit den meinigen nicht übereinstimmen. Wie man aus der Tabelle ersieht, weichen dennoch besonders die scharfen stärkeren Linien nur verhältnismäßig wenig von meinen ab, wenn noch berücksichtigt wird,

daß im Ultraviolett unterhalb 2373 keine Normalen bekannt sind und infolgedessen durch Extrapolation leicht Fehler in die Messung kommen können. Eder gibt die relative Genauigkeit seiner Messungen, die er an einem Konkavgitter von 4,59 m ausführte, auf $^{1-2}/_{100}$ an. Die Messungen von Aretz weisen z. T. eine beträchtliche Abweichung von den meinigen auf. Seine Platten müssen wohl Verschiebung zeigen. Ich erkannte diese besonders bei der Linie 4704,598, die ich aus 12 Messungen auf sechs verschiedenen Platten bestimmte.

Im Bogen habe ich fast alle Linien erhalten, die Exner und Haschek gefunden haben. Drei Linien, die sie mit dem Intensitätsgrad 2 versehen, fehlen wie bei Kayser und Runge so auch bei mir. Sonst sind die fehlenden Linien ausschließlich von der Intensität 1 und zumeist unscharf.

Eine ganze Reihe Linien des Funkenspektrums, die Eder und Valenta sogar mit den Intensitäten 2 und 3 angeben, konnte ich auf meinen Platten nicht wahrnehmen. Da es mir besonders darum zu tun war, Platten ohne Verschiebung zu erhalten und so die stärkeren Linien gut zu messen, ging ich auch bei den Funkenaufnahmen nur selten über 3 Stunden Belichtungszeit hinaus. Eder und Valenta belichten aber an den meisten Stellen weit über 10 Stunden. So ist es natürlich, daß ich eine ganze Reihe ihrer Linien nicht erhielt. Auch finden sich in ihren Tabellen noch eine Reihe Luftlinien, so auch die noch von Aretz als Kupferlinie aufgeführte 5675.

Zwischen 5100 und 4700 erhielt ich nur sehr wenig Linien, obgleich ich drei Stunden belichtete. Eigentümlicherweise weichen in diesem Teile des Spektrums auch die übrigen Tabellen recht weit voneinander ab. So geben Exner und Haschek Linien an, die Eder und Valenta nicht erhalten und umgekehrt. Aretz findet sogar zwei Linien von der Intensität 3, die in keiner andern Tabelle vorkommen.

Bei einigen starken Linien fand ich dicht in ihrer Nähe eine Reihe schwacher an Trabanten erinnernde Linien. Ich habe sie zur Unterscheidung von anderen schwachen Linien mit Tr. bezeichnet; eine Gesetzmäßigkeit in ihrer Lage ließ sich nicht nachweisen.

Am Schluß der zweiten Tabelle folgen noch einige Werte der von mir gemessenen aber recht unscharfen Luftlinien.

Die Intensitätsangabe habe ich nach der Methode von Prof. H. Kayser mit den Zahlen 1 für die schwächsten, bis 10 für die stärksten Linien vorgenommen.

Bei Vergleich der von mir gemessenen Bogen- und Funkenlinien erkennt man, daß die scharfen stärkeren Linien in beiden Tabellen nahezu übereinstimmen. Manche Linien, wie z. B. 2392, 2230 und 2227 weichen um mehrere Hundertstel voneinander ab. Die Differenz führe ich darauf zurück, daß im Bogen und Funken diese Linien ein etwas anderes Aussehen haben. So sind die beiden letzteren im Bogen umgekehrt, im Funken nicht; die erstere ist im Bogen nach Rot abschattiert, was natürlich infolge der Kontrastwirkung im Auge eine Verschiebung des Maximums nach Violett hin bewirkt.

Die Abkürzungen bedeuten:

u = unscharf;
U = sehr unscharf;
br = breit;
W = Wisch;
R = (reversed) umgekehrt;
r = nach Rot verbreitert;
v = nach Violett verbreitert;
Tr = Trabanten.

Tabelle 1. Bogen.

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| — | | 6741,8 | 1 u | 6741,4 | 1 u |
| — | | — | | 6672,2 | 1 u |
| — | | 6621,87 | 1 u | 21,59 | 1 |
| — | | 6485,40 | 1 u | 6485,15 | 1 |
| — | | 74,47 | 1 u | 74,2 | 1 u |
| — | | 6325,6 | 1 u br | 6325,4 | 1 u |
| — | | 6268,42 | 1 u | 6268,30 | 1 u |
| — | | — | | 52,6 | 1 u br |
| — | | 23,87 | 1 u | — | |
| 5782,30 | 8 | 5782,32 | 50 | 5782,158 | 8 |
| 32,53 | 1 | 32,52 | 1 | 32,36 | 1 u |
| 00,39 | 8 | 00,45 | 30 | 00,249 | 6 |
| 5646,93 | 1 U | — | | — | |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| — | | 5631,87 | 1 | — | |
| 5555,16 | 4 | 5555,13 | 2 | 5554,94 | 3 |
| 36,06 | 4 u | 36,0 | 2 u br | 35,78 | 3 u br |
| 5432,30 | 2 U | 5432,3 | 2 u br | 5432,05 | 2 u br |
| 08,56 | 2 U | 08,5 | 1 u br | 08,46 | 1 u br |
| — | | — | | 03,03 | 1 u |
| — | | — | | 5398,69 | 1 |
| 5391,89 | 4 U | 5391,84 | 2 u br | 91,67 | 2 u br |
| 60,22 | 2 | 60,23 | 1 u | 60,045 | 1 |
| 55,20 | 2 U | 55,2 | 1 u br | 55,0 | 1 u br |
| 52,87 | 2 | 52,90 | 1 | 52,68 | 2 |
| — | | 22,66 | 1 | — | |
| — | | — | | 5295,574 | 1 |
| 5292,75 | 6 | 5292,63 | 8 r | 92,539 | 4 |
| — | | 60,2 | 1 u | — | |
| 50,78 | 2 u | 50,7 | 1 u br | — | |
| 20,25 | 6 | 20,22 | 20 | 20,041 | 6 |
| 18,45 | 10 R | 18,40 | 200 | 18,170 | 10 |
| 01,10 | 4 u | 01,1 | 1 u br | 00,87 | 1 u |
| — | | 5188,96 | 1 | — | |
| 5158,53 | 1 u | — | | — | |
| 53,33 | 8 R | 53,45 | 100 | 5153,226 | 8 u |
| 44,35 | 2 u | 44,3 | 1 u br | 44,12 | 1 u br |
| — | | 43,33 | 1 | — | |
| — | | 12,13 | 1 | 11,945 | 2 |
| 05,75 | 8 R | 05,80 | 50 | 05,551 | 8 u |
| — | | 5093,26 | 2 | — | |
| 5076,42 | 2 u | 76,4 | 1 u br | 5076,2 | 3 u br |
| 34,48 | 1 u | 34,5 | 1 u br | 34,3 | 2 u br |
| — | | 16,81 | 2 | 16,634 | 3 |
| — | | 4991,58 | 1 | — | |
| — | | 84,32 | 2 | — | |
| — | | 4976,38 | 1 | — | |
| — | | 66,90 | 1 | — | |
| — | | 66,64 | 1 | — | |
| — | | 4883,44 | 1 | — | |
| 4866,38 | 2 U | 66,4 | 1 u br | 4866,4 | 3 u br |
| — | | 59,12 | 2 | — | |
| — | | 43,55 | 1 | — | |
| — | | — | | 42,2 | 1 u br |
| — | | 4797,25 | 1 | 4797,042 | 2 |
| 4794,23 | 2 U | 94,3 | 1 u br | 94,0 | 2 u br |
| — | | 76,4 | 1 u br | 76,2 | 1 u br |
| 67,69 | 2 U | 67,5 | 1 u br | 67,5 | 2 u br |
| 04,77 | 8 | 04,82 | 8 | 04,598 | 6 |
| — | | — | | 04,20 | Tr. |
| 4697,62 | 4 U | 4697,65 | 2 u br | 4697,490 | 4 u br |
| 74,98 | 6 u | 74,95 | 4 u | 74,76 | 6 u br |
| — | | — | | 52,30 | Tr. |
| — | | — | | 51,986 | Tr. |
| 51,31 | 8 | 51,39 | 20 | 51,130 | 8 |
| — | | — | | 50,73 | Tr. |
| — | | — | | 50,3 | Tr. |
| 42,78 | 2 U | 42,8 | 1 u br | 42,6 | 2 u br |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4587,19 | 10 U | 4587,17 | 20 u | 4586,97 | 6 u br |
| 39,98 | 8 R | 39,9 | 3 u br | 39,70 | 4 u br |
| 31,04 | 8 R | 31,00 | 15 | 30,843 | 6 r |
| 13,39 | 2 u | 13,40 | 1 u | 13,20 | 1 u br |
| 09,60 | 4 | 09,57 | 8 | 09,386 | 4 |
| 07,62 | 6 U | 07,6 | 2 u br | 07,5 | 1 u br |
| — | | — | | 00,37 | 1 u |
| 4480,59 | 8 R | 4480,60 | 10 | 4480,376 | 6 r |
| 15,79 | 6 u | 15,7 | 2 u br | 15,60 | 3 u br |
| 4397,42 | 1 U | 4397,2 | 1 u br | — | |
| 78,40 | 8 R | 78,30 | 20 u | 4378,2 | 6 u br |
| 54,91 | 2 U | 54,8 | 1 u br | — | |
| 36,17 | 2 u | 36,2 | 1 u br | — | |
| 29,00 | 2 U | 28,9 | 1 u br | — | |
| — | | — | | 4275,45 | Tr. |
| 4275,32 | 8 R | 4275,29 | 20 | 75,131 | 6 |
| — | | — | | 74,79 | Tr. |
| 67,48 | 1 u | 67,4 | 1 u br | 67,485 | 1 u |
| 59,63 | 6 u | 59,57 | 2 u br | 59,43 | 2 u br |
| 53,53 | 2 u | 53,50 | 1 u br | — | |
| 49,21 | 4 | 49,12 | 8 | 48,969 | 4 |
| 42,42 | 2 u | 42,40 | 2 u | 42,26 | 1 u |
| 31,20 | 1 U | 31,2 | 1 u br | — | |
| — | | — | | 4228,8 | 1 u |
| — | | — | | 15,526 | 1 |
| 4177,87 | 4 u | 4177,84 | 10 | 4177,758 | 4 u |
| 23,38 | 2 u | 23,40 | 2 u | 23,27 | 2 u |
| — | | — | | 21,7 | 1 u |
| — | | 04,37 | 3 | 4104,233 | 2 |
| 4080,70 | 2 U | 4080,70 | 2 | 4080,534 | 1 u |
| — | | — | | 77,724 | 1 |
| — | | 75,75 | 2 | 75,592 | 3 |
| 73,28 | 2 U | 73,42 | 1 u | — | |
| 63,50 | 1 u | 63,60 | 10 u | 63,296 | 4 u br |
| 62,94 | 10 r | 62,91 | 100 | 62,694 | 6 u br |
| 56,8 | 2 v | 56,6 | 2 u br R v | 56,7 | 2 u br R v |
| — | | 50,79 | 2 | 50,656 | 1 |
| 22,83 | 10 r | 22,88 | 100 | 22,667 | 6 u br |
| 15,8 | 1 v | 15,8 | 1 u br v | 15,8 | 1 u br v |
| 10,96 | 2 U | 11,00 | 1 u | — | |
| 03,18 | 2 | 03,18 | 2 | 03,038 | 2 |
| 3976,12 | 1 U | — | | — | |
| — | | 3965,8 | 1 u br | — | |
| 64,40 | 1 U | 64,30 | 1 u | — | |
| 47,09 | 1 u | 47,03 | 1 | — | |
| — | | — | | 3935,64 | 1 u |
| 33,20 | 1 u | 33,15 | 1 u | — | |
| 25,40 | 2 u | 25,40 | 2 | 25,274 | 1 |
| 21,38 | 1 u | 21,40 | 2 | 21,274 | 1 u |
| 3899,43 | 1 u | 3899,3 | 1 u br | — | |
| 81,80 | 1 u | 81,86 | 1 | — | |
| — | | 62,90 | 1 u | — | |
| 61,88 | 2 u | 61,85 | 3 u | 3861,755 | 3 u |
| 60,64 | 4 u | 60,61 | 3 | 60,467 | 3 |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3825,13 | 1 u | 3825,20 | 2 u | 3825,050 | 3 |
| 21,01 | 1 u | 21,03 | 2 | 20,879 | 2 |
| 17,45 | 1 U | 17,65 | 1 | — | |
| 13,62 | 1 u | 13,65 | 2 | 13,54 | 1 |
| 12,08 | 1 u | 12,07 | 1 u | — | |
| 05,33 | 2 u | 05,40 | 3 | 05,30 | 2 u |
| 03,62 | 1 U | 03,6 | 1 u br | — | |
| 00,55 | 2 u | 00,61 | 2 | 00,499 | 2 |
| 00,06 | 1 u | 00,02 | 1 | 3799,88 | 1 |
| 3797,29 | 1 u | — | | — | |
| 80,14 | 1 U | 3780,20 | 1 | — | |
| 71,96 | 4 u | 72,02 | 3 | 71,902 | 2 |
| 64,90 | 1 U | 64,97 | 1 u | — | |
| 59,53 | 2 u | 59,61 | 2 | 59,495 | 2 |
| 41,32 | 4 u | 41,39 | 4 | 41,247 | 3 |
| 34,27 | 2 u | 34,35 | 3 | 34,23 | 2 |
| 21,76 | 1 U | 21,83 | 1 | 21,70 | 1 u |
| 20,84 | 1 | 20,90 | 2 | 20,770 | 2 |
| 12,05 | 2 u | 12,12 | 2 | 12,000 | 1 |
| 00,63 | 4 u | 00,69 | 6 | 00,532 | 2 |
| 3699,19 | 2 u | 3699,24 | 1 | 3699,1 | 1 u |
| 95,42 | 2 u | — | | — | |
| 88,60 | 2 U | 87,7 | 2 u br | 87,5 | 3 u br r |
| 85,05 | 1 | 85 | 1 u br | 84,925 | 1 |
| 84,75 | 2 u | 84,75 | 2 | 84,671 | 2 |
| 76,97 | 2 u | 76,97 | 2 u br | 76,87 | 1 u |
| 72,00 | 2 u | 72,09 | 2 | 71,969 | 2 |
| 65,85 | 2 u | 65,87 | 2 | 65,740 | 2 |
| 59,44 | 1 u | 59,49 | 2 | 59,358 | 2 |
| 56,90 | 1 u | 56,90 | 1 | 56,787 | 1 u |
| 55,99 | 2 | 56,00 | 2 | 55,865 | 2 |
| 54,6 | 2 U | 54,5 | 2 u br | 54,3 | 2 u br r |
| 52,56 | 1 U | 52,5 | 2 u br | 52,40 | 1 u br r |
| — | | 51,01 | 1 | 50,864 | 1 |
| 48,52 | 1 u | 48,54 | 2 | 48,385 | 2 |
| 45,32 | 2 u | 45,37 | 3 | 45,236 | 2 |
| 44,20 | 2 u | — | | — | |
| 41,79 | 2 u | 41,85 | 3 | 41,693 | 2 |
| 36,01 | 2 u | 36,05 | 3 | 35,923 | 3 |
| 32,65 | 2 u | 32,70 | 2 | 32,56 | 1 |
| 29,91 | 1 | 29,91 | 2 | 29,794 | 1 |
| 27,39 | 4 u | 27,46 | 8 u | 27,33 | 2 u br |
| 24,35 | 2 u | 24,35 | 5 r | 24,236 | 2 u |
| 21,33 | 4 u | 21,38 | 10 | 21,248 | 3 |
| 20,47 | 2 u | 20,50 | 3 | 20,346 | 2 |
| 14,31 | 1 u | 14,35 | 3 | 14,216 | 2 |
| 13,86 | 2 u | 13,89 | 5 | 13,755 | 3 |
| 10,86 | 2 u | 10,93 | 3 | 10,806 | 2 |
| 09,39 | 2 | 09,43 | 2 | 09,300 | 2 |
| 02,11 | 6 u | 02,19 | 10 | 02,038 | 6 |
| — | | — | | 01,75 | Tr. |
| 3599,20 | 6 u | 3599,28 | 10 | 3599,135 | 6 |
| — | | 98,18 | 2 u | 98,01 | 2 u |
| — | | 94,17 | 2 | 94,025 | 2 |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| — | | 3566,28 | 1 u | 3566,14 | 1 u |
| 3546,54 | 1 u | 46,56 | 2 | 46,45 | 1 u |
| 45,05 | 2 u | 45,08 | 3 | 44,966 | 2 |
| 33,84 | 4 u | 33,89 | 10 | 33,744 | 4 u |
| — | | 31,06 | 1 | — | |
| — | | — | | 30,67 | Tr. |
| — | | — | | 30,55 | Tr. |
| 30,50 | 4 | 30,54 | 10 | 30,388 | 6 |
| — | | — | | 30,252 | Tr. |
| — | | — | | 30,10 | Tr. |
| 27,55 | 4 u | 27,61 | 6 | 27,487 | 4 |
| 24,31 | 2 u | 24,36 | 6 | 24,240 | 4 |
| 20,07 | 4 u | 20,15 | 4 | 20,032 | 4 |
| — | | 17,16 | 2 | 17,029 | 2 |
| 12,19 | 6 u | 12,26 | 8 | 12,122 | 4 u |
| — | | 10,46 | 1 | — | |
| — | | 07,53 | 1 | — | |
| — | | 01,67 | 1 | — | |
| — | | 01,46 | 1 | — | |
| 00,37 | 1 u | 00,42 | 2 | 00,314 | 2 |
| 3498,11 | 2 u | 3498,19 | 3 | 3498,063 | 2 |
| — | | 92,09 | 1 | — | |
| 88,89 | 1 u | 88,93 | 2 | 88,846 | 2 |
| 87,62 | 1 u | 87,68 | 2 | 87,565 | 2 u |
| 83,82 | 4 u | 83,90 | 8 | 83,760 | 4 |
| — | | 82,0 | 1 u br | — | |
| 76,07 | 4 u | 76,12 | 8 | 75,998 | 4 |
| — | | 74,70 | 1 | 74,574 | 1 |
| — | | 72,27 | 3 | 72,136 | 3 |
| — | | 65,55 | 2 u | 65,4 | 2 u br |
| — | | 63,7 | 1 u br | 63,5 | 1 u br |
| — | | 59,53 | 2 | 59,424 | 1 |
| — | | 57,97 | 6 | 57,856 | 3 |
| 54,76 | 4 u | 54,89 | 8 u | 54,70 | 4 u br |
| 50,47 | 6 u | 50,47 | 10 | 50,335 | 6 |
| — | | — | | 42,243 | 1 |
| — | | 37,93 | 1 | 40,52 | 3 |
| — | | 36,15 | 1 | 36,53 | 1 u |
| 22,22 | 2 U | 22,3 | 2 u br | — | |
| 20,20 | 1 u | 20,28 | 1 | 20,16 | 1 u |
| 15,94 | 2 u | 15,90 | 3 u | 15,83 | 2 u |
| — | | — | | 14,77 | 1 |
| 13,41 | 2 u | 13,47 | 2 u | 13,34 | 2 |
| 04,73 | 2 u | 04,80 | 4 u | 04,66 | 2 u |
| 02,28 | 2 u | 02,39 | 6 | 02,222 | 3 |
| 3396,39 | 1 | 3396,49 | 2 | 3396,324 | 1 |
| 95,52 | 2 u | 95,61 | 2 | 95,473 | 2 |
| 93,09 | 2 | — | | — | |
| 92,10 | 1 | 92,17 | 1 | 92,01 | 1 u |
| 91,09 | 2 | — | | — | |
| 88,21 | 1 U | 88,2 | 1 u br | — | |
| 84,88 | 2 u | 84,96 | 2 u | 84,815 | 2 u |
| — | | — | | 82,899 | 3 |
| 81,52 | 4 u | 81,57 | 4 | 81,425 | 3 |

Tabelle I (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| — | | 3381,28 | 3 u | 3381,13 | 2 u br |
| — | | 80,03 | 1 u | — | |
| — | | 79,83 | 1 u | — | |
| 3375,74 | 2 u | 75,81 | 2 | 75,671 | 2 |
| 65,46 | 4 u | 65,51 | 10 | 65,353 | 4 r |
| — | | 62,10 | 1 u | — | |
| — | | 58,90 | 1 u | — | |
| — | | 58,45 | 1 u | — | |
| 54,57 | 2 u | 54,61 | 5 | 54,475 | 2 u br |
| — | | 51,37 | 1 | — | |
| 49,38 | 4 u | 49,40 | 6 | 49,287 | 4 u |
| 42,99 | 1 U | 41,30 | 1 | 41,184 | 1 |
| — | | — | | 38,45 | Tr. |
| — | | — | | 38,11 | Tr. |
| — | | — | | 38,00 | Tr. |
| 37,95 | 4 | 37,95 | 10 | 37,850 | 6 |
| — | | — | | 37,73 | Tr. |
| — | | — | | 37,668 | Tr. |
| — | | — | | 37,571 | Tr. |
| — | | 35,37 | 4 | 35,235 | 3 |
| 29,68 | 4 u | 29,76 | 4 | 29,638 | 4 |
| 19,76 | 4 u | 19,81 | 5 | 19,691 | 4 |
| 17,28 | 4 u | 17,34 | 6 | 17,225 | 4 |
| — | | — | | 15,399 | 1 |
| — | | — | | 11,00 | 1 u |
| — | | — | | 08,55 | Tr. |
| 08,10 | 8 u | 08,09 | 20 | 07,952 | 8 |
| 3292,95 | 2 | 3293,08 | 4 | 3292,903 | 3 R |
| — | | 92,50 | 2 | 92,392 | 2 |
| 90,62 | 6 U | 90,67 | 20 | 90,549 | 4 |
| — | | — | | 83,09 | Tr. |
| 82,78 | 4 u | 82,83 | 5 | 82,716 | 4 |
| — | | — | | 82,33 | Tr. |
| — | | — | | 80,687 | Tr. |
| — | | — | | 80,40 | Tr. |
| 79,89 | 2 | 79,94 | 8 | 79,823 | 3 |
| — | | — | | 79,54 | Tr. |
| — | | — | | 79,06 | Tr. |
| 77,35 | 1 | 77,45 | 2 | 77,311 | 2 |
| 74,06 | 10 R | 74,09 | 1000 R | 73,967 | 10 R |
| — | | 68,38 | 3 | 68,278 | 3 |
| 66,05 | 2 u | 66,16 | 3 | 66,014 | 3 |
| — | | — | | 52,22 | 2 |
| 47,65 | 10 R | 47,68 | 1000 R | 47,550 | 10 R |
| 43,21 | 4 u | 43,28 | 8 | 43,160 | 4 u |
| — | | — | | 39,16 | 1 u |
| 35,74 | 4 u | 35,84 | 5 | 35,712 | 4 |
| — | | 34,04 | 1 u | 33,89 | 2 |
| 31,19 | 4 u | 31,29 | 5 | 31,17 | 4 |
| 26,61 | 2 u | 26,69 | 3 | 26,60 | 2 u br |
| 24,69 | 2 u | 24,80 | 3 | 24,653 | 3 |
| 23,47 | 2 u | 23,56 | 3 | 23,424 | 3 u |
| — | | — | | 23,044 | 1 u |
| — | | — | | 18,23 | 1 u |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| — | | — | | 3217,64 | 1 u |
| 3211,47 | 2 u | 3211,52 | 2 | 11,44 | 2 u br |
| — | | — | | 09,47 | 1 u |
| 08,32 | 4 | 08,30 | 8 | 08,236 | 4 |
| — | | — | | 08,119 | Tr. |
| — | | — | | 07,94 | Tr. |
| — | | — | | 07,65 | Tr. |
| — | | — | | 3194,66 | Tr. |
| — | | — | | 94,34 | Tr. |
| 3194,17 | 4 | 3194,22 | 10 | 94,103 | 6 |
| — | | — | | 93,979 | Tr. |
| — | | — | | 93,81 | Tr. |
| — | | 78,34 | 1 | — | |
| 75,81 | 2 U | 76,0 | 2 u br | 75,73 | 3 u br |
| — | | — | | 71,658 | 1 u |
| 69,73 | 4 u | 69,80 | 8 | 69,680 | 4 u |
| 60,09 | 2 | 60,18 | 2 | 60,047 | 2 |
| — | | 56,73 | 3 | 56,623 | 3 |
| 51,67 | 2 u | 51,78 | 1 u | 51,61 | 1 u |
| — | | 49,63 | 2 | 49,501 | 2 |
| 46,93 | 4 u | 46,95 | 10 | 46,821 | 4 u br |
| 42,47 | 4 u | 42,55 | 10 | 42,434 | 6 |
| 40,42 | 4 u | 40,44 | 8 | 40,318 | 4 |
| — | | 37,9 | 1 u br | — | |
| — | | 31,45 | 1 u | — | |
| 28,73 | 4 u | 28,80 | 10 | 28,692 | 4 |
| 26,22 | 6 u | 26,25 | 15 | 26,106 | 6 |
| 20,53 | 2 u | 20,58 | 3 | 20,452 | 2 u |
| — | | 18,45 | 1 | 18,355 | 1 |
| 16,48 | 4 u | 16,44 | 15 | 16,345 | 4 u br |
| 13,59 | 2 u | 13,59 | 2 | 13,468 | 2 |
| 08,64 | 6 u | 08,70 | 20 | 08,603 | 6 u r |
| — | | — | | 08,43 | Tr |
| 3099,97 | 4 u | 00,05 | 10 | 3099,922 | 4 |
| 94,07 | 2 | 3094,12 | 10 | 93,993 | 6 |
| — | | — | | 93,72 | Tr. |
| — | | 88,22 | 4 | 88,121 | 3 |
| — | | 80,32 | 1 | — | |
| — | | 78,93 | 1 | — | |
| 73,89 | 4 | 73,94 | 8 | 73,803 | 4 |
| — | | — | | 73,704 | Tr. |
| — | | — | | 73,53 | Tr. |
| — | | 72,20 | 1 | — | |
| 70,86 | 1 u | 70,90 | 1 u br | — | |
| — | | 69,01 | 1 | 68,912 | 2 |
| 63,50 | 6 | 63,54 | 10 | 63,416 | 6 |
| — | | — | | 63,18 | Tr. |
| 57,73 | 2 | — | | 57,65 | 1 |
| 53,52 | 1 u | 53,51 | 1 u | — | |
| 52,73 | 1 u | 52,64 | 1 u | — | |
| 44,18 | 2 u | 44,17 | 2 | 44,032 | 2 |
| — | | 39,60 | 1 u | — | |
| — | | 39,20 | 1 | — | |
| — | | 37,21 | 1 | — | |

Tabelle 1 (Fortsetzung)

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3036,17 | 6 | 3036,22 | 10 | 3036,105 | 6 |
| — | | — | | 35,89 | Tr. |
| — | | — | | 35,84 | Tr. |
| 30,33 | 2 u | 30,38 | 2 | 30,25 | 2 u |
| 25,07 | 2 u | 25,11 | 3 | 24,993 | 2 |
| 22,65 | 4 u | 22,72 | 4 | 22,608 | 3 |
| 21,73 | 2 u | 21,72 | 5 | 21,56 | 3 u r |
| — | | 14,97 | 2 u | 14,84 | 2 u |
| — | | 13,94 | 1 | 13,847 | 1 |
| 12,07 | 4 u | — | | 12,02 | 3 u |
| 10,92 | 4 | 10,99 | 10 | 10,840 | 5 |
| — | | 2998,50 | 2 | 2998,384 | 2 |
| 2997,46 | 4 | 97,50 | 10 | 97,363 | 4 |
| — | | — | | 97,13 | Tr. |
| 91,91 | 2 U | 91,90 | 1 u | 91,76 | 1 u |
| 86,10 | 4 U | 86,05 | 1 u | 85,88 | 1 u br |
| 82,91 | 2 U | 82,93 | 1 u | 82,77 | 1 u |
| — | | 82,28 | 1 | — | |
| 79,52 | 2 U | 79,52 | 3 u | 79,38 | 2 u |
| 78,42 | 2 U | 78,41 | 3 u | 78,293 | 2 u |
| — | | 74,83 | 1 | — | |
| — | | — | | 61,716 | Tr. |
| 61,25 | 6 R | 61,31 | 20 | 61,177 | 6 |
| — | | — | | 60,92 | Tr. |
| 51,38 | 4 u | 51,36 | 2 u | 51,3 | 1 u br |
| — | | 38,99 | 1 | — | |
| 25,65 | 2 u | 25,55 | 1 u | — | |
| 24,99 | 1 u | 25,00 | 1 u | 24,90 | 1 u |
| — | | 23,83 | 2 u | 23,714 | 2 u |
| — | | 23,38 | 1 u | — | |
| — | | 22,98 | 1 u | — | |
| 11,29 | 2 u | 11,35 | 1 u | 11,21 | 1 u |
| 2891,77 | 2 U | 2891,80 | 2 u | 2891,642 | 1 |
| 90,97 | 2 U | 91,00 | 2 u | 90,85 | 2 u |
| — | | 85,93 | 1 | — | |
| — | | — | | 83,18 | Tr. |
| 83,03 | 4 | 83,10 | 8 | 82,937 | 4 |
| — | | — | | 82,713 | Tr. |
| 79,04 | 2 U | — | | — | |
| 75,66 | 2 U | 75,80 | 1 u | — | |
| 74,60 | 2 U | 74,70 | 1 u | — | |
| — | | 66,30 | 1 | — | |
| — | | 58,86 | 3 | 58,737 | 2 |
| — | | 58,40 | 3 | 58,233 | 1 |
| — | | 46,60 | 1 | — | |
| — | | 37,73 | 1 | — | |
| — | | 24,50 | 20 | 24,375 | 8 |
| — | | 05,80 | 1 u | — | |
| — | | 03,75 | 1 u | — | |
| — | | 02,77 | 1 u | — | |
| 2792,07 | 2 U | 2792,05 | 1 u | — | |
| 86,65 | 2 U | 86,62 | 1 u | — | |
| 83,67 | 2 U | 83,67 | 2 u | 2783,55 | 2 u |
| 82,73 | 2 U | 82,73 | 2 u | 82,61 | 2 u |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| — | | — | | 2769,71 | 1 u |
| 2769,37 | 1 u | 2769,35 | 1 u | 69,14 | 1 |
| 68,94 | 4 u | 68,94 | 2 u | 68,889 | 3 |
| 66,50 | 6 R r | 66,51 | 50 | 66,388 | 8 |
| — | | 63,89 | 2 u | 63,705 | 1 R |
| 51,86 | 1 u | 51,9 | 1 u br | 51,8 | 1 u |
| 51,38 | 4 U | 51,35 | 2 u | 51,27 | 2 u |
| — | | 45,53 | 1 u | 45,43 | 1 u |
| 24,04 | 4 U | 24,03 | 2 u | 23,954 | 2 |
| — | | 20,28 | 1 u | 20,21 | 1 u |
| 15,67 | 4 U | 15,60 | 2 u | 15,52 | 1 u |
| — | | 13,61 | 1 | 13,541 | 1 |
| — | | 03,30 | 1 | 03,24 | 1 u |
| — | | 02,70 | 1 u br | — | |
| — | | 01,10 | 1 | 01,01 | 1 u |
| 2696,83 | 1 u | — | | — | |
| 87,85 | 1 u | — | | — | |
| 81,16 | 1 u | — | | — | |
| 76,59 | 2 r | 2676,55 | 1 u | — | |
| 72,24 | 2 U | 72,15 | 1 u br | — | |
| — | | 71,30 | 1 u | — | |
| 51,78 | 2 U | 51,80 | 1 u | — | |
| 49,93 | 2 U | 49,90 | 1 u | 2649,84 | 1 u |
| 45,45 | 2 U | 45,41 | 1 u | 45,31 | 1 u |
| — | | 35,50 | 2 u | — | |
| 35,02 | 4 U | — | | 34,91 | 2 u |
| 30,15 | 4 U | 30,10 | 2 u | 30,002 | 2 |
| 27,49 | 2 U | 27,49 | 2 u | 27,37 | 1 |
| — | | 26,7 | 1 u br | — | |
| 18,46 | 10 R | 18,46 | 50 R r | 18,381 | 10 r |
| 05,08 | 1 U | — | | — | |
| 2580,52 | 2 U | — | | — | |
| 79,40 | 2 U | 2579,40 | 1 u br | 2579,22 | 1 u |
| 70,76 | 2 u | — | | — | |
| 69,99 | 2 U | 69,95 | 1 u br | — | |
| 67,17 | 1 u | — | | — | |
| 63,54 | 2 r | — | | — | |
| 53,38 | 1 r | — | | — | |
| 47,67 | 2 r | — | | — | |
| — | | — | | 44,85 | 2 u |
| — | | 06,40 | 1 | 06,31 | 1 |
| 2494,97 | 2 | — | | — | |
| 92,22 | 6 R | 2492,24 | 5 R | 2492,142 | 8 |
| — | | — | | 89,659 | 2 |
| 60,98 | 2 u | — | | — | |
| 58,97 | 2 u | — | | — | |
| 41,72 | 6 R | 41,75 | 2 | 41,625 | 6 |
| — | | — | | 40,99 | 1 u |
| — | | — | | 39,89 | 1 u |
| — | | — | | 35,88 | 1 u |
| — | | — | | 34,18 | 1 u |
| — | | — | | 33,45 | 1 u |
| — | | — | | 31,71 | 1 u |
| — | | — | | 26,35 | 1 u |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| — | | — | | 2424,90 | 1 u |
| — | | — | | 22,67 | 1 u |
| — | | — | | 14,73 | 1 u |
| — | | — | | 12,61 | 1 u |
| 2406,82 | 8 r | 2406,80 | 3 | 06,661 | 6 |
| — | | — | | 03,327 | 1 |
| 00,18 | 4 | 00,18 | 1 | 00,102 | 2 |
| 2392,71 | 8 R r | 2392,82 | 5 u | 2392,629 | 8 r |
| 69,97 | 6 | 69,97 | 2 | 69,877 | 6 |
| 63,28 | 1 | — | | 63,90 | 1 u |
| — | | — | | 63,20 | 1 u |
| — | | — | | 61,43 | 1 u |
| — | | — | | 58,50 | 1 |
| — | | — | | 57,97 | 1 u |
| — | | — | | 56,80 | 1 u |
| 56,68 | 4 | — | | 56,623 | 4 |
| — | | — | | 55,93 | 1 u |
| — | | — | | 54,03 | 1 u |
| — | | — | | 53,28 | 1 u |
| — | | — | | 50,96 | 1 |
| — | | — | | 50,73 | 1 u |
| — | | — | | 49,84 | 1 |
| 45,59 | 2 | — | | — | |
| — | | — | | 43,61 | 1 u |
| — | | — | | 40,03 | 1 u |
| — | | — | | 38,69 | 1 u |
| 19,70 | 4 u | 19,69 | 1 u | 19,561 | 4 |
| 03,18 | 6 | 03,20 | 1 | 03,109 | 6 |
| 2294,44 | 2 | 2294,37 | 2 u | 2294,353 | 4 |
| 93,92 | 10 R | 93,93 | 3 R | 93,832 | 8 R r |
| 82,20 | 1 u | — | | — | |
| 76,30 | 4 | 76,30 | 1 | 76,244 | 4 |
| 63,20 | 6 R | 63,18 | 2 R r | 63,09 | 6 R r |
| 60,58 | 4 R | 60,55 | 1 u | 60,493 | 4 |
| 47,08 | 4 u | — | | 46,984 | 4 |
| 44,36 | 1 | — | | 44,240 | 2 |
| 42,68 | 4 | 42,71 | 1 | 42,599 | 4 |
| 40,89 | 1 u | — | | — | |
| 38,52 | 2 R | — | | 38,43 | 2 u |
| 36,40 | 1 R | — | | 36,22 | 1 u |
| 30,16 | 8 R | 30,16 | 2 R | 30,071 | 6 R |
| 28,95 | 4 | 28,94 | 1 | 28,845 | 4 |
| 27,85 | 8 R | 27,81 | 2 R | 27,74 | 6 R |
| 25,77 | 6 R | 25,8 | 1 u | 25,665 | 2 R |
| 18,21 | 2 | 18,19 | 1 | 18,079 | 4 |
| 15,78 | 6 R | 15,78 | 2 R | 15,65 | 4 R |
| 14,68 | 8 R | 14,63 | 2 R | 14,56 | 6 R |
| 10,35 | 2 | 10,35 | 1 | 10,240 | 2 |
| 2199,77 | 8 R | 2199,70 | 2 R | 2199,65 | 6 R |
| 92,35 | 2 u | 92,35 | 1 | 92,236 | 3 |
| 89,69 | 2 | 89,70 | 1 | 89,599 | 3 |
| 81,80 | 4 R | — | | 81,68 | 1 u |
| 79,41 | 4 | 79,48 | 1 | 79,37 | 3 u |
| 78,97 | 6 R | — | | 78,91 | 1 u |

Tabelle 1 (Fortsetzung).

| Kayser und Runge Rowland | | Exner und Haschek Rowland | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|
| 2171,88 | 1 R | — | 2171,75 | 1 u |
| 69,49 | 1 | — | 69,49 | 2 u |
| 65,20 | 4 R | — | 65,06 | 1 u |
| 49,05 | 2 | — | 48,93 | 2 |
| — | | — | 38,44 | 1 u |
| 36,05 | 2 | — | 35,92 | 2 |
| — | | — | 34,29 | 1 |
| — | | — | 30,700 | 1 |
| 26,11 | 2 | — | 25,978 | 2 |
| — | | — | 24,1 | 1 |
| 23,06 | 2 | — | 22,916 | 2 |
| 12,19 | 1 | — | 12,023 | 2 |
| 04,88 | 4 R | — | 04,717 | 2 |
| 2085,40 | 1 | — | 2085,22 | 1 |
| 68,45 | 1 | — | — | |
| 61,77 | 1 | — | — | |
| 55,08 | 1 | — | 54,88 | 1 |
| 43,73 | 1 | — | 43,71 | 1 |
| 37,28 | 1 | — | 37,01 | 1 |
| 35,90 | 1 | — | 35,74 | 1 |
| 25,14 | 2 R | — | — | |
| 16,76 | 1 | — | — | |
| 15,53 | 1 | — | — | |
| 13,19 | 1 | — | — | |
| 03,50 | 1 | — | — | |
| 1999,68 | 1 | — | — | |
| 95,16 | 1 | — | — | |
| 89,24 | 1 | — | — | |
| 79,26 | 1 | — | — | |
| 71,99 | 1 | — | — | |
| 56,83 | 1 | — | — | |
| 43,88 | 1 | — | — | |

## Verunreinigungen.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5895,93 | 1 Na | 3933,672 | 2 Ca | 3050,824 | 2 Ni |
| 89,96 | 1 Na | 3225,020 | 1 Ni | 37,936 | 1 Ni |
| 4226,732 | 3 Ca | 3134,099 | 2 Ni | 03,623 | 1 Ni |
| 4057,827 | 1 Pb | 01,876 | 1 Ni | 02,488 | 2 Ni |
| 3968,476 | 2 Ca | 01,559 | 2 Ni | 2992,60 | 1 u br Ni |
| 61,54 | 2 Al | 3092,711 | 2 Al | 2852,13 | 1 u Mg |
| 44,025 | 2 Al | 82,16 | 2 Al | 33,06 | 1 u Pb |

## Tabelle 2. Funken.

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | Aretz Intern. | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|
| 6381,1 | 6 | — | — | — | |
| 6219,5 | 4 | — | — | — | |
| — | | — | — | 5783,02 | Tr |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Aretz Intern. | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5782,30 | 8 | 5782,36 | 10 r | 5782,131 | 6 | 5782,157 | 10 |
| — | | — | | — | | 81,18 | Tr |
| 68,65 | 1 u | — | | — | | — | |
| 60,49 | 1 u | — | | — | | — | |
| 32,50 | 1 u | 32,55 | 1 u | — | | 32,37 | 1 u |
| — | | 22,00 | 1 u | — | | — | |
| — | | 10,90 | 2 u | — | | — | |
| 00,39 | 6 | 00,49 | 8 | 00,248 | 4 | 00,251 | 8 |
| 5696,68 | 3 u | — | | — | | — | |
| 85,03 | 1 u | — | | — | | — | |
| 79,42 | 3 | — | | — | | Luft | |
| 75,85 | 2 u | — | | 5675,978 | 2 | Luft | |
| 72,92 | 2 U | — | | — | | — | |
| 68,77 | 2 u | — | | — | | — | |
| 66,62 | 3 | — | | — | | Luft | |
| 63,52 | 1 u | — | | — | | — | |
| 52,16 | 4 u | 5652,2 | 1 u br | — | | — | |
| 46,13 | 3 u | — | | — | | — | |
| 44,39 | 1 U | — | | — | | — | |
| 39,50 | 1 U | — | | — | | — | |
| 35,04 | 2 U | 35,0 | 1 u br | — | | — | |
| 33,84 | 1 U | — | | — | | — | |
| 24,71 | 1 U | — | | — | | — | |
| 21,17 | 3 u | — | | — | | — | |
| 18,70 | 3 u | — | | — | | — | |
| 08,83 | 3 | 09,1 | 1 u br | — | | — | |
| 5574,10 | 3 u | 5574,2 | 1 u br | — | | — | |
| 71,47 | 1 u | — | | — | | — | |
| 66,35 | 3 | — | | — | | — | |
| 63,83 | 2 | — | | — | | — | |
| 55,15 | 2 u | 55,16 | 1 | — | | — | |
| 43,11 | 2 u | 43,6 | 1 u br | — | | — | |
| — | | 40,1 | 1 u br | — | | — | |
| 35,90 | 3 U | 35,9 | 2 u | — | | — | |
| — | | — | | 5531,342 | 1 | — | |
| 00,09 | 2 | — | | — | | — | |
| 5498,14 | 2 | — | | — | | — | |
| 95,12 | 4 | — | | — | | — | |
| 87,30 | 3 | — | | — | | — | |
| — | | 5478,3 | 1 u | — | | — | |
| 75,49 | 2 u | — | | — | | — | |
| 72,00 | 3 u | — | | — | | — | |
| 63,55 | 4 u | 63,44 | 1 u | — | | — | |
| 60,25 | 2 u | — | | — | | — | |
| 56,02 | 2 | — | | — | | — | |
| 53,93 | 1 u | — | | — | | — | |
| 50,62 | 2 | — | | — | | — | |
| 40,90 | 1 U | — | | — | | — | |
| 38,79 | 4 | — | | — | | — | |
| 32,26 | 2 u | 32,4 | 1 u br | — | | — | |
| 29,01 | 1 u | — | | — | | — | |
| 22,93 | 1 u | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | | 5419,98 | 1 u br |
| 18,61 | 4 | — | | — | | — | ä |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Aretz Intern. | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5410,97 | 2 u | — | | — | | — | |
| 08,55 | 3 u | 5408,8 | 1 u br | — | | — | |
| 5391,92 | 2 u | 5391,85 | 2 u r | — | | — | |
| 89,70 | 3 | — | | — | | — | |
| 80,75 | 3 | — | | — | | — | |
| 69,63 | 3 | — | | — | | — | |
| 60,20 | 2 | 60,30 | 1 | — | | — | |
| 57,27 | 2 U? | — | | — | | — | |
| 55,10 | 1 U | 55,3 | 1 u br | — | | — | |
| 52,85 | 1 U | 52,97 | 1 | — | | 5352,68 | 1 u |
| 40,71 | 1 u | — | | — | | — | |
| 38,19 | 1 u | — | | — | | — | |
| 25,38 | 3 | — | | — | | — | |
| 17,60 | 4 u | — | | — | | — | |
| 09,41 | 2 | — | | — | | — | |
| 5295,71 | 2 | — | | — | | — | |
| 92,75 | 6 | 5292,76 | 6 r | 5292,550 | 2 | 5292,539 | 2 |
| 87,66 | 2 | — | | — | | — | |
| 85,77 | 2 | — | | — | | — | |
| 82,34 | 2 u | — | | — | | — | |
| 70,13 | 1 | — | | — | | — | |
| 68,38 | 3 | — | | — | | — | |
| 55,62 | 1 | — | | — | | — | |
| 50,82 | 2 u | 50,8 | 1 u br | — | | — | |
| 32,80 | 2 | — | | — | | — | |
| 20,25 | 6 | 20,22 | 8 | 20,083 | 4 | 20,044 | 3 |
| 18,45 | 10 R | 18,35 | 200 v | 18,203 | 6 | 18,173 | 8 v |
| 08,37 | 2 | — | | — | | — | |
| 03,74 | 3 | — | | | | — | |
| 01,14 | 2 u | 01,20 | 2 u | — | | — | |
| — | | — | | 5175,366 | 1 | — | |
| 5153,40 | 10 R | 5153,43 | 100 v | 53,266 | 4 | 5153,228 | 6 v |
| 44,40 | 1 | 44,4 | 1 u | 44,098 | 1 | — | |
| 39,03 | 2 u | — | | — | | — | |
| 33,86 | 1 u | — | | — | | — | |
| 30,97 | 1 | — | | — | | — | |
| 24,70 | 1 | 24,7 | 1 u br | — | | — | |
| 20,00 | 2 | — | | — | | — | |
| 12,18 | 2 | 12,16 | 1 | 11,942 | 0 | — | |
| 05,75 | 8 | 05,74 | 20 | 05,578 | 4 | 05,551 | 4 |
| 5095,08 | 2 u | — | | — | | — | |
| 94,29 | 2 u | — | | — | | — | |
| 89,54 | 2 u | 5089,5 | 1 u br | — | | — | |
| 76,49 | 1 u | 76,45 | 2 u | 5076,280 | 1 | — | |
| 67,33 | 2 U | 67,0 | 1 u br | 73,427 | 1 | — | |
| 60,86 | 1 | — | | — | | — | |
| 59,58 | 1 U | — | | — | | — | |
| 53,02 | 2 u | 52,9 | 1 u br | 52,485 | 1 | — | |
| 34,49 | 1 u | 34,55 | 1 u br | — | | — | |
| — | | — | | 22,770 | 0—1 | — | |
| 16,99 | 2 u | 16,82 | 2 | 16,609 | 2 | — | |
| 13,40 | 2 u | 13,5 | 1 u br | — | | — | |
| — | | — | | 11,721 | 0 | — | |
| 07,49 | 1 | — | | — | | 5007,36 | 1 u br |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Aretz Intern. | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5005,38 | 2 | — | | — | | 5005,15 | 3 u br |
| 01,50 | 1 | — | | — | | 01,34 | 3 u br |
| 4985,94 | 2 u | 4986,5 | 1 u br | — | | — | |
| — | | 74,7 | 1 u br | — | | — | |
| 54,83 | 4 u | 54,9 | 2 u br | 4954,830 | 2 | — | |
| 45,17 | 1 u | — | | — | | — | |
| 38,56 | 1 U | — | | — | | — | |
| 32,86 | 4 U | 32,6 | 2 u br | 32,659 | 3 | — | |
| 27,66 | 1 | — | | — | | — | |
| 21,82 | 1 u | | | — | | — | |
| 19,65 | 1 ? | 19,3 | 1 u br | — | | — | |
| 13,98 | 1 ? | — | | — | | — | |
| 10,77 | 3 u | 10,5 | 2 u br | 10,325 | 2—3 | — | |
| — | | — | | 4890,705 | 1 | — | |
| 4889,89 | 2 | — | | 89,615 | 1 | — | |
| — | | 4871,5 | 1 u | 71,489 | 1 | — | |
| 67,33 | 2 U | 66,8 | 1 u br | 66,695 | 1 | — | |
| 56,48 | 1 ? | 56,5 | 1 u br | 56,847 | 0 | — | |
| — | | 52,0 | 1 u br | — | | — | |
| — | | 42,5 | 1 u br | | | — | |
| — | | 32,42 | 1 | 32,307 | 1 | — | |
| — | | 14,0 | 1 u br | — | | — | |
| — | | 4797,30 | 1 u | 4796,862 | 1 | — | |
| — | | — | | 93,800 | 3 | — | |
| — | | — | | 81,180 | 1 | — | |
| 4767,74 | 1 ? | 67,5 | 1 u br | 67,473 | 0 | — | |
| — | | — | | 64,779 | 2 | — | |
| 58,61 | 2 u | 58,60 | 2 | 58,578 | 2 | — | |
| 48,85 | 2 | — | | — | | — | |
| 04,76 | 5 | 04,79 | 2 | 04,633 | 4 | 4704,601 | 2 |
| — | | — | | 02,921 | 3 | — | |
| 4697,83 | 3 u | 4697,75 | 1 u br | — | | — | |
| 83,35 | 2 U | — | | — | | — | |
| 74,98 | 6 | 75,00 | 3 u | — | | Luft | |
| — | | 67,4 | 1 u | — | | 4667,27 | 1 u |
| 51,29 | 8 | 51,38 | 10 u r | — | | 51,134 | 6 r |
| 49,31 | 2 | — | | — | | Luft | |
| 43,05 | 2 u | — | | — | | Luft | |
| 34,47 | 1 u | — | | — | | — | |
| 30,77 | 4 | — | | — | | 30,54 | 6 u br |
| 23,26 | 1 u | — | | — | | — | |
| 21,52 | 2 | — | | — | | 21,41 | 2 u |
| 14,30 | 2 u | — | | — | | 13,89 | 2 u |
| 07,45 | 2 | — | | — | | 07,15 | 3 u |
| 01,80 | 2 | — | | — | | 01,49 | 3 u br |
| 4587,17 | 8 | 4587,2 | 20 u | — | | 4587,04 | 2 u br |
| 55,94 | 1 U | — | | — | | — | |
| 39,60 | 3 u | 39,9 | 5 u | — | | 39,7 | 1 br W. |
| 30,98 | 2 | 31,02 | 2 | — | | 30,841 | 2 |
| 09,50 | 4 u | 09,53 | 3 r | — | | 09,391 | 2 |
| 07,77 | 1 U | — | | — | | 07,61 | 1 u br |
| 05,65 | 1 U | 06,16 | 2 | — | | 06,02 | 1 u |
| 4492,57 | 2 U | — | | — | | — | |
| 80,52 | 3 U | 4480,61 | 2 | — | | 4480,38 | 1 |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4416,06 | 1 U | 4415,7 | 2 u | — | 4414,93 | 2 u |
| 4378,30 | 1 u | 4378,34 | 20 u | — | 4378,2 | 2 u br |
| 4275,36 | 10 | 4275,30 | 20 r | — | 4275,132 | 4 r |
| 60,17 | 1 u | 59,65 | 2 u | — | — | |
| 49,17 | 3 u | 49,15 | 5 r | — | 48,968 | 1 |
| 28,37 | 1 u | 28,10 | 2 | — | 27,93 | 1 |
| 4177,92 | 2 u | 4178,0 | 2 u | — | — | |
| — | | 23,50 | 2 u | — | — | |
| — | | 4080,7 | 1 u | — | — | |
| 4062,89 | 7 r | 62,87 | 10 u | — | 4062,700 | 2 r |
| 43,70 | 3 | 43,62 | 4 | — | 43,500 | 2 |
| — | | — | | — | 40 | 2 br. W. |
| — | | — | | — | 35 | 1 br. W. |
| 22,91 | 4 | 22,85 | 20 r | — | 22,701 | 2 |
| — | | 03,20 | 1 u | — | — | |
| 3983,31 | 1 u | — | | — | 3982,4 | 1 u |
| 81,84 | 1 u | — | | — | — | |
| 79,74 | 1 u | — | | — | — | |
| 62,77 | 1 u | — | | — | — | |
| 59,60 | 1 u | — | | — | — | |
| 54,98 | 1 u | — | | — | — | |
| 52,02 | 1 u | — | | — | — | |
| 48,18 | 1 u | — | | — | — | |
| 34,15 | 2 | — | | — | — | |
| 23,10 | 2 | — | | — | — | |
| 19,72 | 2 u | — | | — | — | |
| 17,67 | 1 u | — | | — | — | |
| 14,00 | 2 u | — | | — | — | |
| 12,35 | 1 u | — | | — | 12,0 | 2 u br |
| 3899,90 | 2 | — | | — | — | |
| 94,64 | 1 u | — | | — | — | |
| 88,77 | 1 u | — | | — | — | |
| 87,12 | 1 u | — | | — | — | |
| 61,88 | 1 | — | | — | — | |
| 60,95 | 2 u | 3860,65 | 1 u | — | — | |
| 39,03 | 2 u | — | | — | — | |
| 34,86 | 1 u | — | | — | — | |
| 31,97 | 1 u | — | | — | — | |
| 26,40 | 2 u | — | | — | 3817,4 | 2 u br |
| 13,77 | 2 u | — | | — | — | |
| 12,05 | 1 u | — | | — | — | |
| — | | — | | — | — | |
| — | | 09,75 | 1 u | — | — | |
| 09,29 | 3 u | 09,30 | 1 u | — | — | |
| 07,84 | 2 u | — | | — | — | |
| 04,50 | 1 u | — | | — | — | |
| 01,29 | 1 u | — | | — | — | |
| — | | 00,60 | 1 u | — | — | |
| 3799,47 | 1 u | — | | — | — | |
| 91,12 | 4 u | 3791,2 | 2 u | — | — | |
| 84,21 | 2 u | — | | — | — | |
| 81,97 | 1 u | — | | — | — | |
| 80,31 | 1 u | — | | — | — | |
| 77,17 | 3 u | 77,2 | 1 u | — | — | |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3775,15 | 2 u | — | | — | — | |
| 72,17 | 1 u | 3772,02 | 1 u | — | — | |
| 64,21 | 1 u | — | | — | — | |
| 62,23 | 1 u | — | | — | — | |
| — | | 59,6 | 1 u | — | 3759,635 | 2 u |
| 54,78 | 1 u | — | | — | — | |
| 52,29 | 2 u | 52,5 | 1 u | — | — | |
| 48,50 | 1 u | — | | — | — | |
| 44,94 | 2 u | — | | — | — | |
| 41,44 | 2 | 41,40 | 1 | — | — | |
| 37,62 | 1 u | — | | — | — | |
| 34,08 | 2 | 34,28 | 1 | — | 34,389 | 3 |
| 26,43 | 1 u | — | | — | — | |
| 20,32 | 1 u | — | | — | — | |
| 15,27 | 1 u | — | | — | — | |
| 03,10 | 2 u | — | | — | — | |
| 00,56 | 1 u | 00,65 | 1 u | — | — | |
| 3697,99 | 1 u | — | | — | — | |
| 87,75 | 2 u | — | | — | — | |
| 86,70 | 3 | 3686,69 | 3 | — | 3686,57 | 2 |
| — | | 84,8 | 1 u | — | — | |
| — | | 77,0 | 1 u | — | — | |
| — | | 72,10 | 1 u | — | — | |
| — | | 65,89 | 1 | — | — | |
| 59,54 | 1 u | 59,5 | 1 u | — | — | |
| 56,22 | 1 | 56,00 | 1 | — | — | |
| 54,59 | 1 ? | — | | — | — | |
| — | | 48,50 | 1 u | — | — | |
| 45,00 | 1 U | 45,3 | 1 u | — | — | |
| 42,00 | 1 U | 41,82 | 1 u | — | — | |
| 39,47 | 1 u | — | | — | — | |
| 36,10 | 2 u | 36,05 | 2 u | — | — | |
| 33,14 | 1 u | — | | — | — | |
| 27,64 | 1 u | 27,4 | 2 u | — | — | |
| 25,61 | 1 u | — | | — | — | |
| 24,44 | 1 u | 24,4 | 1 u | — | — | |
| 21,31 | 2 u | 21,3 | 2 u | — | — | |
| 20,46 | 1 u | 20,60 | 1 u | — | — | |
| — | | 14,30 | 1 | — | — | |
| 13,89 | 2 u | 13,90 | 2 u | — | — | |
| 11,08 | 1 u | — | | — | — | |
| 02,10 | 4 u | 02,17 | 3 u | — | 3602,041 | 2 |
| 3599,24 | 4 u | 3599,27 | 3 u | — | 3599,135 | 2 |
| 49,09 | 1 u | — | | — | — | |
| — | | 45,0 | 1 u | — | — | |
| 33,79 | 2 u | 33,88 | 2 u | — | 33,74 | 1 u |
| 30,44 | 3 | 30,53 | 3 | — | 30,388 | 2 |
| 27,56 | 2 | 27,60 | 1 u | — | 27,49 | 1 |
| 24,36 | 3 | 24,39 | 3 | — | 24,236 | 2 |
| 20,20 | 2 | 20,13 | 2 | — | 20,031 | 1 |
| 16,86 | 1 | 17,1 | 1 u | — | — | |
| 12,16 | 3 | 12,25 | 5 u | — | 12,12 | 1 u |
| — | | 3488,98 | 1 u | — | — | |
| — | | 87,70 | 1 u | — | — | |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3483,82 | 4 | 3483,90 | 5 | — | 3483,763 | 2 |
| 76,03 | 3 | 76,13 | 3 | — | 76,001 | 2 |
| 72,26 | 1 u | 72,25 | 1 | — | — | |
| — | | 65,6 | 1 u br | — | — | |
| — | | 57,99 | 2 | — | 57,86 | 1 u |
| 54,64 | 1 u | 54,89 | 5 u | — | 54,70 | 2 u |
| 50,43 | 3 | 50,50 | 8 u | — | 50,331 | 2 u |
| — | | 22,2 | 1 u br | — | — | |
| — | | 20,30 | 1 u | — | — | |
| 15,74 | 1 u | 15,9 | 3 u | — | 15,51 | 1 u |
| 13,27 | 1 u | — | | — | 13,29 | 1 u |
| 04,62 | 1 u | 04,8 | 2 u | — | — | |
| 02,31 | 1 u | 02,4 | 2 u br | — | 02,22 | 1 |
| — | | 3396,47 | 1 u | — | — | |
| — | | 95,59 | 1 u | — | — | |
| 3393,51 | 3 | — | | — | — | |
| 81,43 | 2 u | 81,54 | 1 | — | 3381,43 | 1 |
| — | | 81,3 | 1 u br | — | — | |
| — | | 75,81 | 1 u | — | — | |
| — | | 65,51 | 3 u | — | 65,356 | 2 u |
| 65,45 | 3 | — | | — | — | |
| — | | 54,63 | 1 u | — | — | |
| 49,43 | 2 | 49,40 | 3 u | — | 49,287 | 1 u |
| 38,00 | 4 | 37,97 | 3 | — | 37,852 | 2 |
| 35,59 | 1 u | 35,36 | 2 u br | — | 35,234 | 1 |
| 29,64 | 1 u | 29,73 | 2 u br | — | 29,634 | 1 u |
| — | | — | | — | 29,07 | 1 u br |
| 19,74 | 2 | 19,78 | 2 u | — | 19,689 | 1 |
| 17,35 | 2 | 17,30 | 3 u | — | 17,224 | 2 |
| 08,10 | 7 | 08,07 | 10 u | — | 07,956 | 4 |
| 3292,77 | 1 u | 3293,05 | 2 | — | 3292,911 | 3 R |
| 90,60 | 3 | 90,67 | 8 u | — | 90,545 | 3 |
| 82,79 | 2 | 82,80 | 8 u | — | 82,715 | 3 u |
| 79,89 | 3 | 79,92 | 3 | — | 79,822 | 3 |
| — | | 77,42 | 1 | — | 77,31 | 1 u |
| 74,09 | 8 | 74,08 | 30 u | — | 73,965 | 8 R |
| — | | 68,40 | 2 | — | 68,279 | 1 |
| 66,03 | 1 | 66,15 | 2 | — | 66,015 | 1 |
| — | | 52,40 | 1 | — | 52,228 | 1 |
| 47,65 | 10 | 47,66 | 30 u | — | 47,549 | 10 R |
| 43,13 | 3 u | 43,27 | 5 u br | — | 43,151 | 3 u |
| 35,68 | 3 | 35,80 | 3 u | — | 35,711 | 2 |
| 31,25 | 2 | 31,25 | 3 u | — | 31,167 | 2 |
| 26,60 | 1 u | 26,71 | 1 u | — | — | |
| 24,67 | 2 u | 24,75 | 2 u | — | 24,656 | 1 |
| 23,47 | 2 u | 23,50 | 2 u | — | 23,445 | 2 u |
| 08,41 | 1 u | 08,32 | 2 | — | 08,235 | 2 |
| 04,64 | 2 u | — | | — | — | |
| 00,20 | 2 | — | | — | — | |
| 3194,15 | 6 | 3194,22 | 3 | — | 3194,102 | 3 |
| — | | 70,7 | 2 u br | — | — | |
| 69,68 | 3 u | 69,77 | 2 u | — | 69,677 | 2 |
| 59,85 | 6 u | — | | — | — | |
| — | | 56,77 | 1 | — | — | |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3146,84 | 1 u | 3146,95 | 2 u | — | 3146,82 | 1 u |
| 42,38 | 1 u | 42,56 | 2 u | — | 42,43 | 2 |
| 40,33 | 1 u | 40,50 | 2 u | — | 40,34 | 1 |
| — | | 28,80 | 2 u | — | 28,693 | 2 |
| 26,16 | 6 | 26,22 | 3 u | — | 26,111 | 3 |
| 16,34 | 1 u | 16,45 | 2 u | — | 16,35 | 1 u |
| 08,55 | 5 | 08,75 | 6 u | — | 08,605 | 3 r |
| — | | — | | — | 08,47 | 2 |
| 3099,93 | 5 | 00,04 | 5 u | — | 3099,92 | 2 u |
| 94,01 | 3 | 3094,11 | 2 | — | 93,993 | 1 |
| 88,10 | 1 u | 88,20 | 1 u | — | — | |
| 73,82 | 1 | 73,95 | 2 | — | 73,806 | 1 |
| 70,86 | 1 | — | | — | — | |
| 63,50 | 3 | 63,55 | 3 | — | 63,418 | 2 |
| 36,15 | 3 | 36,20 | 2 | — | 36,107 | 2 |
| — | | 22,71 | 1 u | — | — | |
| — | | 21,70 | 1 u | — | — | |
| 10,93 | 3 | 10,95 | 3 | — | 10,841 | 1 |
| 07,42 | 1 u? | — | | — | — | |
| 2997,47 | 1 | 2997,50 | 3 | — | 2997,365 | 1 |
| 82,21 | 1 u | — | | — | — | |
| 79,31 | 1 u | 79,50 | 1 u | — | — | |
| — | | 78,41 | 1 u br | — | — | |
| 76,00 | 1 u | — | | — | — | |
| 71,80 | 1 u | — | | — | — | |
| 61,20 | 5 | 61,30 | 4 | — | 61,177 | 4 |
| 2884,50 | 1 u | 2884,48 | 2 u | — | 2884,376 | 1 u |
| 83,05 | 1 | 83,05 | 2 | — | 82,936 | 2 |
| 78,02 | 3 | 77,97 | 3 u | — | 77,89 | 2 u |
| 60,45 | 3 | — | | — | — | |
| 58,28 | 1 u | 58,4 | 1 u br | — | — | |
| — | | 58,0 | 1 u br | — | — | |
| 37,66 | 2 u | 37,68 | 3 u | — | 37,56 | 2 u |
| 24,47 | 6 | 24,49 | 4 | — | 24,373 | 4 |
| 13,25 | 2 | 13,10 | 1 | — | — | |
| 2799,55 | 1 u | — | | — | 02,73 | 1 |
| 95,60 | 2 | — | | — | 2795,55 | 1 |
| 80,25 | 1 | — | | — | — | |
| 77,15 | 1 | — | | — | — | |
| 69,89 | 8 | 2769,95 | 10 | — | 69,848 | 4 u |
| 66,47 | 2 | 66,53 | 2 | — | 66,386 | 2 |
| 63,80 | 1 | — | | — | — | |
| 51,33 | 2 u | — | | — | — | |
| 45,57 | 6 | 45,52 | 2 u | — | 45,43 | 1 u |
| 41,18 | 6 | — | | — | — | |
| 40,07 | 1 | 40,0 | 1 u | — | — | |
| 37,65 | 3 | 37,6 | 1 u | — | — | |
| 34,07 | 2 u | — | | — | — | |
| 31,58 | 2 u | — | | — | — | |
| 29,46 | 1 u | — | | — | — | |
| 24,1 | 2 u | — | | — | — | |
| 22,00 | 4 | 21,93 | 2 u Ag? | — | 21,84 | 1 u |
| 19,01 | 6 u | 19,02 | 6 | — | 18,958 | 3 u |
| 13,77 | 8 | 13,76 | 8 | — | 13,664 | 4 u |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Eder Intern. | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2703,45 | 9 | 2703,42 | 5 | — | | 2703,343 | 3 u |
| 01,30 | 10 | 01,21 | 8 | — | | 01,121 | 4 u |
| 2698,54 | 1 | — | | — | | — | |
| 96,61 | 2 | — | | — | | — | |
| 89,58 | 10 | 2689,56 | 8 | — | | 2689,46 | 4 u |
| 80,0 | 1 u | — | | — | | — | |
| 66,59 | 6 | 66,52 | 3 u | — | | 66,44 | 2 u |
| 58,7 | 1 u | — | | — | | — | |
| 49,9 | 1 u | — | | — | | — | |
| 44,06 | 5 | 44,00 | 1 | — | | 43,93 | 1 |
| 41,70 | 2 | 41,65 | 1 u | — | | — | |
| 35,1 | 1 u | — | | — | | — | |
| 30,67 | 1 u | — | | — | | — | |
| 24,4 | 1 u | — | | — | | — | |
| — | | 20,87 | 1 u | — | | — | |
| 18,47 | 8 | 18,50 | 3 r | — | | 18,381 | 3 |
| 09,42 | 7 | 09,39 | 2 | — | | 09,31 | 2 |
| 00,53 | 10 | 00,49 | 5 u | — | | 00,430 | 3 u |
| 2599,13 | 8 | 2599,03 | 3 u | — | | 2598,96 | 2 u |
| 92,9 | 1 u | — | | — | | — | |
| 90,79 | 5 | 90,75 | 3 u | — | | 90,68 | 2 u |
| 87,63 | 1 u | — | | — | | — | |
| 86,70 | 1 u | — | | — | | — | |
| 84,0 | 1 ? | — | | — | | — | |
| 81,37 | 1 | — | | — | | — | |
| 80,36 | 1 | — | | — | | — | |
| 78,46 | 1 u | — | | — | | — | |
| 77,91 | 1 u | — | | — | | — | |
| 76,95 | 1 u | — | | — | | — | |
| 76,10 | 1 u | — | | — | | — | |
| 75,30 | 2 | — | | — | | 2575,2 | 1 u |
| 73,52 | 3 | 2573,50 | 1 u | — | | 73,46 | 1 u |
| 72,00 | 4 | — | | — | | — | |
| 71,99 | 5 u | 71,99 | 1 u | — | | 71,91 | 1 u |
| 71,14 | 2 u | — | | — | | — | |
| 69,80 | 1 u | — | | — | | — | |
| 66,52 | 5 | 66,50 | 1 u | — | | 66,46 | 1 u |
| 64,35 | 1 | — | | — | | — | |
| 63,1 | 1 | — | | — | | — | |
| 61,5 | 1 u | — | | — | | — | |
| 57,4 | 1 u | — | | — | | — | |
| 54,47 | 2 | — | | — | | 54,4 | 1 u |
| 53,28 | 2 U | 53,33 | 1 u | — | | 53,21 | 1 u |
| 52,90 | 1 u | | | — | | — | |
| 52,1 | 1 u | — | | — | | 50,44 | 1 u |
| 50,48 | 2 u | — | | — | | 44,957 | 4 |
| 45,09 | 10 | 45,02 | 20 | (*)2544,93 | 10 | — | |
| 38,53 | 4 | 38,8 | 1 u | 38,69 | 1 | 38,78 | 1 u |
| 35,47 | 4 | 35,4 | 1 u Ag? | 35,34 | 1 | 35,39 | 1 u |
| 33,8 | 1 u | — | | — | | 33,75 | 1 u |
| 32,99 | 2 u | 32,95 | 1 u br | — | | 32,90 | 1 u |
| 32,20 | 2 u | 32,2 | 1 u br | — | | 32,11 | 1 u |
| 29,61 | 8 | 29,50 | 8 | (*) 29,42 | 7 | 29,48 | 3 u |
| 26,84 | 5 | 26,79 | 4 | 26,72 | 4 | 26,731 | 2 u |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Eder Intern. | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2525,16 | 3 | 2525,1 | 1 u br | — | | 2525,04 | 1 u |
| 23,23 | 4 | 23,25 | 1 u br | 2523,14 | 1 | 23,20 | 1 u |
| 22,45 | 4 | 22,45 | 1 | 22,32 | 1 | 22,391 | 1 |
| 21,19 | 2 | 21,15 | 1 u br | — | | 21,07 | 1 u |
| 19,02 | 2 | 19,0 | 1 u br | 18,84 | 1 | 18,93 | 1 u |
| 18,54 | 3 | 18,55 | 1 u br | — | | 18,43 | 1 u |
| 17,03 | 2 | 17,05 | 1 u br | — | | 16,94 | 1 u |
| 16,55 | 2 | 16,5 | 1 u br | 16,32 | 1 | 16,46 | 1 u |
| 14,87 | 1 | — | | — | | — | |
| 13,22 | 5 | — | | — | | 13,07 | 1 u |
| 11,46 | 5 | 11,50 | 1 u | 11,37 | 1 | 11,39 | 1 u |
| 10,95 | 1 | — | | — | | — | |
| 08,68 | 5 u | 08,7 | 1 u | 08,57 | 1 | 08,6 | 1 u |
| 06,51 | 10 | 06,51 | 10 r | (*) 06,42 | 9 | 06,42 | 3 u |
| — | | — | | — | | 05,62 | 1 u R |
| 04,84 | 1 u | — | | — | | 04,70 | 1 u |
| 03,62 | 1 u | — | | — | | 03,10 | 1 u |
| 03,1 | 1 u | — | | — | | — | |
| 00,87 | 2 U | — | | — | | 00,77 | 1 u |
| — | | — | | 2498,79 | 1 | — | |
| 2497,69 | 3 | 2497,70 | 1 | 97,61 | 1 | 2497,63 | 1 |
| 96,12 | 4 u | 96,20 | 1 u | 96,18 | 1 | 96,14 | 1 u |
| 93,6 | 1 u | — | | — | | — | |
| 92,21 | 6 | 92,24 | 2 | 92,11 | 2 | 92,143 | 2 |
| 89,72 | 8 | 89,70 | 5 | (*) 89,62 | 7 | 89,643 | 2 |
| 86,57 | 4 u | 86,60 | 1 u | 86,54 | 1 | 86,56 | 1 u |
| 85,99 | 4 u | 85,99 | 5 u | 85,91 | 4 | 85,947 | 2 u |
| 82,37 | 5 | 82,43 | 2 | 82,29 | 3 | 82,326 | 1 |
| 81,2 | 6 | — | | — | | — | |
| 79,8 | 1 | — | | — | | — | |
| 78,36 | 3 u | — | | 78,43 | 1 | 78,43 | 1 u R |
| 75,44 | 1 u | — | | — | | — | |
| 75,19 | 1 u | — | | — | | 75,2 | 1 u |
| 73,50 | 3 | 73,55 | 4 u | (*) 73,45 | 5 | 73,47 | 2 |
| 68,60 | 8 | 68,67 | 2 u | 68,61 | 5 | 68,58 | 2 u |
| 65,97 | 4 u | 66,00 | 1 u | 65,99 | 1 | 65,92 | 1 u |
| 64,93 | 2 u | — | | — | | — | |
| — | | — | | — | | 63,93 | 1 u |
| 63,10 | 2 u | — | | — | | 63,08 | 1 u |
| 62,11 | 3 u | — | | 62,07 | 1 | 62,06 | 1 u |
| 60,49 | 1 U | — | | — | | — | |
| 59,4 | 1 U | 59,45 | 1 u | 59,34 | 1 | 59,45 | 1 u |
| 58,85 | 1 U | 58,73 | 1 u | 58,79 | 1 | 58,78 | 1 u |
| 57,9 | 1 u | — | | — | | — | |
| 53,16 | 5 | 53,13 | 1 u | 53,04 | 1 | 53,06 | 1 u |
| 51,9 | 1 | — | | — | | — | |
| 49,5 | 1 | — | | — | | — | |
| 47,62 | 2 u | — | | 47,63 | 1 | 47,61 | 1 u |
| 46,82 | 2 u | 46,9 | 1 u | 46,80 | 1 | 46,81 | 1 u |
| 45,52 | 2 u | — | | — | | 45,53 | 1 u |
| 44,54 | 5 | 44,50 | 2 | (*) 44,43 | 3 | 44,466 | 2 |
| 43,55 | 2 u | 43,47 | 1 u | — | | 43,4 | 1 u |
| 42,78 | 2 u | — | | — | | 42,61 | 1 u |
| 41,73 | 6 | 41,70 | 2 | 41,63 | 1 | 41,628 | 2 |

**Tabelle 2 (Fortsetzung).**

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Eder Intern. | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2440,29 | 3 u | — | | 2440,16 | 1 | 2440,18 | 1 u |
| 38,01 | 4 | — | | — | | — | |
| 36,02 | 5 | 2435,95 | 1 u | 35,94 | 1 | 35,88 | 1 u |
| 33,68 | 3 | — | | 33,57 | 1 | 33,54 | 1 u |
| 30,64 | 4 u | 30,5 | 1 u | 30,52 | 1 | 30,49 | 1 u |
| 29,18 | 2 u | 29,10 | 1 u | — | | 29,04 | 1 u |
| 28,37 | 3 u | — | | — | | 28,27 | 1 u |
| 24,69 | 6 | 24,62 | 2 u | 24,59 | 3 | 24,558 | 2 u |
| 22,03 | 3 | — | | — | | 21,94 | 1 u |
| 20,0 | 1 u | — | | — | | — | |
| 18,5 | 1 u | — | | — | | 18,5 | 1 u |
| 16,26 | 5 | — | | — | | — | |
| 14,9 | 1 u | — | | — | | — | |
| 14,3 | 2 | — | | — | | — | |
| 13,2 | 1 | — | | — | | — | |
| 12,46 | 5 | 12,39 | 1 | 12,35 | 1 | 12,34 | 1 u |
| 12,23 | 4 | 12,18 | 1 | — | | 12,105 | 1 |
| 08,6 | 1 u | — | | — | | — | |
| 06,80 | 1 | — | | — | | 06,664 | 1 u |
| 05,63 | 1 | 05,54 | 1 | 05,51 | 1 | 05,487 | 1 |
| 03,58 | 8 u | 03,51 | 6 u | (*) 03,50 | 4 | 03,47 | 3 u |
| 00,23 | 6 | 00,18 | 6 | (*) 00,13 | 6 | 00,104 | 3 |
| 2394,62 | 2 | — | | — | | — | |
| 92,76 | 4 | 2392,72 | 1 u | 2392,67 | 4 | 2392,643 | 1 |
| 91,83 | 3 | 91,81 | 1 | 91,75 | 3 | 91,762 | 1 |
| 85,18 | 2 u | 85,10 | 1 u | 85,09 | 2 | 85,06 | 1 u |
| 76,51 | 5 u | 76,43 | 2 u | (*) 76,43 | 5 | 76,400 | 2 u |
| — | | 72,34 | 1 u | — | | — | |
| 70,95 | 4 | 70,93 | 1 u | — | | 70,88 | 1 u |
| 69,95 | 10 | 69,94 | 10 | (*) 69,88 | 10 | 69,880 | 4 |
| — | | — | | — | | 69,43 | 1 |
| 68,28 | 5 | 68,20 | 1 | — | | 68,158 | 1 |
| — | | 67,55 | 1 u | — | | — | |
| 64,24 | 1 u | 64,3 | 1 u | — | | — | |
| 63,34 | 1 u | 63,3 | 1 u | — | | 63,2 | 1 u |
| 62,8 | 1 u | — | | — | | — | |
| 61,68 | 1 u | 61,67 | 1 u | — | | 61,61 | 1 u |
| — | | — | | — | | 59,00 | 1 u |
| 56,70 | 6 | 56,67 | 3 | (*) 56,64 | 5 | 56,623 | 3 |
| 55,24 | 4 u | 55,19 | 2 | 55,15 | 4 | 55,14 | 1 u |
| 48,90 | 3 u | 48,86 | 2 | 48,84 | 3 | 48,80 | 1 u |
| 46,23 | 2 | 46,22 | 1 | 46,16 | 2 | 46,168 | 2 |
| 45,52 | 1 u | — | | — | | — | |
| 45,34 | 1 u | — | | — | | — | |
| 41,28 | 2 | — | | — | | — | |
| 39,1 | 1 u | — | | — | | — | |
| 36,31 | 4 | 36,30 | 2 | (*) 36,28 | 4 | 36,260 | 2 u |
| — | | — | | — | | 27,343 | 1 |
| 24,64 | 1 u | — | | — | | — | |
| 23,14 | 1 u | 23,20 | 1 u | — | | 23,10 | 1 u |
| 20,38 | 2 | — | | — | | 20,304 | 1 |
| 19,7 | 1 | — | | — | | — | |
| 16,08 | 2 | — | | — | | — | |
| 15,3 | 1 | — | | — | | 15,1 | 1 u br |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Eder Intern. | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2312,46 | 1 | — | | — | | — | |
| 09,74 | 2 | 2309,71 | 1 u | 2309,63 | 2 | 2309,61 | 1 u |
| 03,18 | 4 | — | | 03,13 | 4 | 03,111 | 2 |
| 00,51 | 1 | — | | — | | 00,3 | 1 u |
| 2299,67 | 2 | — | | 2299,56 | 2 | 2299,56 | 1 u |
| 98,40 | 1 | — | | — | | 98,137 | 1 u |
| — | | — | | — | | 97,74 | 1 u |
| 96,92 | 1 | — | | — | | 96,881 | 1 u |
| 94,44 | 6 | 2294,45 | 4 | (*) 94,35 | 6 | 94,351 | 4 |
| 93,98 | 3 | — | | 93,87 | 3 | 93,856 | 2 u |
| 92,79 | 1 | 92,79 | 1 | 92,69 | 1 | 92,69 | 1 u |
| — | | — | | — | | 92,07 | 1 u |
| 91,96 | 4 | 91,20 | 2 | 91,12 | 4 | 91,083 | 2 u |
| 86,79 | 4 | 86,80 | 2 | (*) 86,73 | 4 | 86,727 | 2 u |
| 80,92 | 1 | — | | — | | — | |
| 78,48 | 2 | — | | 78,42 | 2 | 78,449 | 1 u |
| 76,30 | 6 | 76,36 | 4 | (*) 76,24 | 6 | 76,245 | 4 |
| 74,9 | 1 | — | | — | | 74,016 | 1 u |
| — | | — | | — | | 71,730 | 1 u |
| 65,50 | 2 | 65,55 | 2 u | 65,44 | 2 | 65,46 | 1 u |
| 63,89 | 3 u | 64,00 | 3 u | 63,87 | 3 | 63,879 | 2 u |
| 63,27 | 2 | 63,40 | 2 u | 63,18 | 2 | 63,235 | 1 u |
| 60,58 | 2 | — | | — | | — | |
| 55,12 | 2 u | 55,13 | 2 u | 55,06 | 2 | 55,093 | 1 u |
| 52,00 | 1 u | — | | — | | — | |
| 49,13 | 3 u | 49,12 | 2 u | 49,06 | 3 | 49,13 | 2 u |
| 47,08 | 7 u | 47,06 | 8 R | (*) 46,97 | 8 | 46,990 | 4 |
| 44,29 | 1 u | — | | 44,22 | 1 | 44,24 | 1 u |
| 42,68 | 7 | 42,69 | 6 u | (*) 42,59 | 7 | 42,600 | 4 |
| 31,74 | 1 | 31,74 | 1 u | 31,64 | 1 | 31,66 | 1 u |
| 31,14 | 2 | 31,10 | 1 u | 31,00 | 2 | 31,04 | 1 u |
| 30,18 | 3 u | 30,19 | 2 u R | 30,05 | 2 | 30,093 | 2 u |
| 28,94 | 4 | 28,94 | 3 u | (*) 28,84 | 5 | 28,842 | 3 |
| 27,85 | 2 u | 27,89 | 1 u R | 27,77 | 2 | 27,76 | 1 u |
| 26,94 | 3 u | 26,95 | 2 u | 26,86 | 3 | 26,84 | 1 u |
| 25,77 | 2 | 25,80 | 1 u | 25,68 | 2 | 25,671 | 1 |
| 24,90 | 2 | 24,95 | 2 u | 24,78 | 2 | 24,75 | 1 u |
| — | | — | | — | | 20,31 | 1 u |
| — | | 18,7 | 1 u br | — | | 18,58 | 1 u |
| 18,18 | 6 | 18,19 | 3 u | 18,07 | 5 | 18,080 | 3 |
| — | | — | | — | | 15,85 | 1 u |
| 15,38 | 3 | 15,28 | 2 u | 15,20 | 3 | 15,16 | 2 u |
| 14,80 | 3 | — | | 14,58 | 3 | 14,57 | 1 |
| 12,89 | 1 | 12,95 | 1 u | 12,83 | 1 | 12,85 | 1 u R |
| 10,35 | 5 | 10,35 | 3 u | (*) 10,24 | 5 | 10,240 | 3 |
| 09,95 | 1 | 09,94 | 1 u | — | | 09,85 | 1 u |
| 00,60 | 1 | 01,65 | 1 u | — | | 00,57 | 1 u |
| 2199,76 | 3 | 2199,71 | 1 u R | 2199,58 | 1 | 2199,58 | 2 |
| 95,87 | 3 | 95,87 | 2 u | (*) 95,76 | 3 | 95,75 | 2 u |
| 92,36 | 5 | 92,35 | 3 u | 92,23 | 5 | 92,234 | 3 u |
| 89,69 | 5 | 89,69 | 3 u | 89,58 | 5 | 89,599 | 3 |
| 83,0 | 1 | 82,88 | 1 u | — | | — | |
| 81,78 | 1 | — | | 81,70 | 1 | 81,684 | 1 |
| 79,45 | 5 | 79,49 | 3 u | (*) 79,36 | 5 | 79,37 | 3 u |

Tabelle 2 (Fortsetzung).

| Eder und Valenta Rowland | | Exner und Haschek Rowland | | Eder Intern. | | Hasbach Intern. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2179,10 | 1 | — | | — | | 2178,91 | 1 u |
| 75,14 | 3 | 2175,13 | 2 u | 2175,03 | 2 | 75,011 | 2 u |
| 65,14 | 1 | 65,14 | 1 u | 65,06 | 1 | 65,055 | 1 |
| 61,44 | 1 | 61,49 | 2 u | 61,36 | 1 | 61,356 | 2 u |
| 57,29 | 2 | — | | — | | — | |
| 51,95 | 3 | 51,99 | 1 u | 51,82 | 2 | 51,83 | 1 u |
| 49,05 | 4 | 49,08 | 2 u | (*) 48,91 | 4 | 48,927 | 2 |
| 47,06 | 2 u | 47,10 | 1 u | — | | — | |
| 45,64 | 2 u | — | | — | | — | |
| 44,9 | 1 u | — | | — | | — | |
| 36,05 | 3 | 36,08 | 3 R | (*) 35,92 | 3 | 35,919 | 3 u |
| 34,51 | 2 | 34,49 | 2 u | 34,36 | 2 | 34,338 | 2 |
| 30,20 | 1 u | — | | — | | — | |
| 26,09 | 3 | 26,12 | 2 u | 25,97 | 3 | 25,971 | 2 |
| 25,26 | 2 | 25,28 | 1 u | — | | — | |
| 23,06 | 3 | 23,08 | 2 u | (*) 22,91 | 3 | 22,910 | 2 |
| 17,44 | 2 | 17,46 | 2 u | 17,33 | 2 | 17,305 | 2 u |
| 12,19 | 2 | 12,19 | 2 u | 12,02 | 2 | 12,022 | 2 |
| 04,88 | 2 | 04,89 | 1 u | (*) 04,73 | 2 | 04,716 | 2 |
| 2098,51 | 2 u | — | | 2098,43 | 2 | 2098,38 | 1 u |
| 93,78 | 1 | — | | — | | 93,61 | 1 u |
| 8,12 | 2 | — | | 87,96 | 2 | 87,93 | 1 u |
| 85,39 | 3 | — | | (*) 85,27 | 3 | 85,221 | 1 |
| 78,83 | 2 | — | | 78,69 | 2 | 78,65 | 1 |
| 70,4 | 1 u | — | | — | | — | |
| 66,82 | 1 u | — | | — | | 66,31 | 1 u |
| 62,58 | 1 u | — | | — | | — | |
| 55,05 | 2 | — | | 54,92 | 2 | 54,88 | 1 |
| 43,84 | 2 | — | | (*) 43,74 | 2 | 43,71 | 1 |
| 37,24 | 2 | — | | (*) 37,06 | 2 | 37,02 | 1 |
| 36,93 | 2 | — | | (*) 35,82 | 2 | — | |
| — | | — | | — | | 35,74 | 1 |
| 31,08 | 1 u | — | | 30,98 | 1 | 31,01 | 1 u |
| 25,53 | 2 | — | | (*) 25,44 | 2 | 25,36 | 1 |
| 16,85 | 2 | — | | — | | 16,77 | 1 |
| 16,0 | 2 | — | | — | | — | |
| 15,69 | 1 | — | | — | | 15,44 | 1 u |
| 13,19 | 1 u | — | | — | | — | |
| 1999,71 | 2 | — | | (*)1999,64 | 2 | 1999,55 | 1 |
| 89,20 | 2 | — | | (*) 89,13 | 1 | 89,06 | 1 |
| 79,27 | 2 | — | | (*) 79,24 | 1 | 79,16 | 1 |
| 70,00 | 1 | — | | — | | — | |
| 44,11 | 2 | — | | — | | — | |
| 38,35 | 1 | — | | — | | — | |

## Luftlinien.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 6610,4 | 1 u br | N | 5932 | 1 u br | N |
| 6482,1 | 1 u br | N | 5679,5 | 3 u br | N |
| 5942 | 2 u br | N | 76,0 | 1 u br | N |

Luftlinien (Fortsetzung).

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5666,6 | 2 u br | N | 4347,42 | 1 u | O |
| 5535,1 | 1 u br | N | 45,55 | 1 u | O |
| 5496,1 | 1 u br | N | 19,62 | 1 u | O |
| 5352,24 | 1 u | N | 17,10 | 1 u | O |
| 4803,32 | 2 u br | N | 4242 | 1 br. W. | N |
| 4788,16 | 1 u br | N | 37 | 1 br. W. | N |
| 79,73 | 1 u br | N | 4189,8 | 2 u br | O |
| 05,3 | 1 u br | O | 85,49 | 1 u br | O |
| 4699,20 | 1 u br | O | 53,37 | 1 u br | O |
| 76,169 | 1 u | O | 45,85 | 1 u br | N |
| 74,85 | 1 u br | N | 20,4 | 1 u br | O |
| 61,57 | 1 u | O | 19,30 | 2 u br | O |
| 50,77 | 1 u br | N | 05,0 | 1 u br | O |
| 49,08 | 3 u | O | 03,3 | 1 u br | N |
| 43,09 | 3 u | N | 4097,28 | 1 u br | N |
| 41,76 | 2 u br | O | 75,93 | 3 u br | O |
| 40,51 | 1 u br | N | 72,24 | 2 u | O |
| 38,81 | 1 u | O | 69,90 | 2 u br | O |
| 09,45 | 1 u br | O | 3995,08 | 6 u br | N |
| 4596,14 | 1 u | O | 73,299 | 3 u br | O |
| 90,93 | 2 u | O | 55,91 | 2 u | N |
| 4447,04 | 4 u br | N | 54,42 | 2 u | O |
| 17,0 | 1 u br | O | 45,3 | 1 u | O |
| 4366,92 | 2 u | O | 19,05 | 1 u | N |
| 51,3 | 2 u br | O | 3749,53 | 2 u | O |
| 49,42 | 3 u | O | 27,35 | 2 u | O |
| 48,00 | 1 u | N | 3437,27 | 2 u br | N |

## Gesetzmäßigkeiten.

Aus den Spektren eines Körpers kann man, wie Untersuchungen von Kirchhoff und Bunsen zeigen, direkte Schlüsse auf die Zusammensetzung des Körpers ziehen. Diese Tatsache eröffnete der Chemie und vor allem der Astronomie ein ganz neues Forschungsgebiet. Konnte man doch jetzt erst Aufschluß über die Elemente erlangen, die die selbstleuchtenden Gestirne zusammensetzen.

Auf dem Gebiete der Atomtheorie verspricht die Spektroskopie noch viel mehr zu leisten. Aus den Dimensionen des strahlenden Körpers und den in seinen Atomen vorhandenen elektrischen Kräften läßt sich, wie bei der Akustik so auch hier, ein Grundton und die nächsten Obertöne berechnen.

Gerade in den Linienspektren sind bisher viele und interessante Gesetzmäßigkeiten gefunden worden. Es gelang Balmer als erstem eine Formel zunächst für die vier bekanntesten Wasserstofflinien aufzustellen. Beim Vergleich ihrer Wellenlängen erkannte er, daß sie sich aus ihrem kleinsten gemeinsamen Faktor durch Multipli-

kation mit 9/5, 4/3, 25/11 und 9/8 berechnen lassen. Durch Umformung des zweiten und vierten Gliedes ergibt sich hieraus $\frac{3^2}{3^2-4}$, $\frac{4^2}{4^2-4}$, $\frac{5^2}{5^2-4}$, $\frac{6^2}{6^2-4}$; wir erhalten also die Formel $\lambda = h \frac{m^2}{m^2-4}$, wo $m$ eine ganze Zahl bedeutet und zwar ergeben sich die bisher bekannten Wasserstofflinien aus $m = 3$ bis $m = 31$. Führt man in die Balmersche Formel statt der Wellenlänge die Schwingungszahl $n$ ein, so ergibt sich:

$$\frac{1}{\lambda} = n = \frac{1}{h} \cdot \frac{m^2-4}{m^2}$$
$$= A + \frac{B}{m^2} = A + B m^{-2}.$$

Die allgemeinere Formel ist von Kayser und Runge in der Form:

$$n = A + B m^{-2} + C m^{-4} + \ldots.$$

gegeben worden. Rydberg wendet die Formel an

$$n = A + \frac{B}{(m+\mu)^2},$$

wo $n$ und $m$ dieselben Größen wie oben; $\mu$ eine zwischen 0 und 1 gelegene Zahl bedeutet, die durch passende Wahl von $m$ erhalten wird, d. h. es läßt sich stets ein $m$ so bestimmen, daß $\mu$ zwischen 0 und 1 zu liegen kommt.

Die genaueste und umfassendste Serienformel ist diejenige von Ritz:

$$v = A - \frac{N}{[m + \alpha + \beta(A - v)]^2}.$$

Hierin ist $v$ die aufs Vakuum reduzierte Schwingungszahl; $A$ die Schwingungszahl des Endgliedes der ersten Nebenserie; $N$ eine allgemein gültige Konstante; $\alpha$ und $\beta$ sind zwei für das Element charakteristische Konstanten; $m$ bedeutet die Reihe der ganzen Zahlen.

Das Spektrum des Kupfers zeigt ebenso wie das des Goldes und Silbers keine solche Regelmäßigkeit wie die Spektren der Alkalien, ja man könnte auf den ersten Blick ohne Berücksichtigung der Analogien zu den anderen Spektren die Verteilung der Linien für vollkommen regellos halten. Einige wenige scharfe Linien desselben Charakters und mit übereinstimmender Schwingungsdifferenz fallen sofort ins Auge. Bei genauerer Untersuchung findet man

noch einige schwächere derartige Linien, die ebenfalls dieselbe Schwingungsdifferenz ergeben.

Die ersten recht ertragreichen Untersuchungen hierüber stellten Kayser und Runge im Jahre 1892 an. Sie fanden acht Paare von Linien mit konstanter Schwingungsdifferenz, von denen zwei Paare einen Begleiter mitführen. Diese Begleiter, die ich in meiner Berechnung mit anführe, sollen nach Kayser und Runge mit der kleineren Wellenlänge zusammen konstante Schwingungsdifferenzen ergeben. Die Paare sind:

1) 5782, 5700 } scharfes starkes Paar.
2) 5220, 5218, 5153 } stark verbreitertes umgekehrtes Paar mit einem Begleiter.
3) 4531, 4480 } beide umgekehrt und nach Rot verbreitert.
4) 4063, 4062, 4022 } beide stark nach Rot verbreitert mit einem Begleiter.
5) 4056, 4015 } zwei schwächere nach Violett verbreiterte Linien.
6) 3861, 3825 } zwei gleich starke ein wenig verbreiterte Linien.
7) 3688, 3654 } zwei stark verbreiterte schwache Linien.
8) 3274, 3247 } zwei auffallend starke Umkehrlinien.

Diese acht Gruppen sind von Kayser und Runge in folgender Weise in Serien geteilt, die auch in die Rydbergsche Tafel der Schwingungsdifferenzen gut passen.

Das zweite, vierte und siebente Paar gehört zur ersten Nebenserie und zwar mit den Ordnungszahlen 4, 5 und 6. Für die zweite Nebenserie kommen zunächst nur die Paare 3 und 6 mit den Ordnungszahlen 4 und 5 in Betracht. Durch die Versuche Randalls[18]) im Ultrarot bereichert sich diese Serie um ein Glied 8093,4—7934,05. Das erste besonders starke Paar paßt gar nicht in eine der oben erwähnten Formeln. Dunz[23]) läßt es in seiner Zusammenstellung der Serien ganz aus. Das achte ultraviolette

Glied wird das erste Paar der Hauptserie sein, die sich zu weit ins Ultraviolett fortsetzt, um beobachtet werden zu können. Randall gibt noch einige Anhaltspunkte für die Bergmannsserie 18194,6—18229,5.

Ich gebe nur die Berechnung von mir gemessener Serienlinien. In der ersten Kolonne stehen die gemessenen Wellenlängen; die zweite bringt die Korrektur zur Reduktion aufs Vakuum. $\lambda'$ ist die aufs Vakuum reduzierte Wellenlänge und $v = \frac{1}{\lambda'}$ ihre Schwingungszahl. Die fünfte Kolonne gibt die Differenzen der Schwingungszahlen und in Klammern die von Kayser und Runge angegebenen Differenzen; die sechste endlich die Ordnungszahl der Gruppe in der betreffenden Serie.

Als Mittel der Schwingungsdifferenz ergibt sich 248,427.

Die auf Tausendstel angegebenen Werte zeigen recht gute Übereinstimmung der Schwingungsdifferenz. Die dritte Gruppe der ersten Nebenserie ist ein sehr stark nach Rot verbreitertes Paar, dem der Begleiter scheinbar fehlt. Da die Linie 3687,5 eine Breite von mehr als 1 A.-E. einnimmt, so ist es wohl möglich, daß sie aus zwei etwa um 2—3/10 A.-E. auseinander liegenden Linien zusammengesetzt ist, obgleich man keine getrennten Intensitätsmaxima wahrnimmt. Es könnte demnach die Linie 3687,5 oder eine von ihr etwas nach Violett liegende als Begleiter des Paares gelten, während die obere Linie dieser Gruppe um etwa 1—2/10 A.-E. nach Rot hin zu liegen käme, was der Gesetzmäßigkeit größere Genauigkeit gibt. Bei dem letzten angeführten Paar 4056,7—4015,8 ist der Fehler der Differenz auf die ungenaue Angabe der Wellenlänge zurückzuführen. Die Linie 4015,8 war so schwach, daß ich sie kaum mit bloßem Auge, geschweige denn mit einer Lupe oder dem Mikroskop wahrnehmen konnte.

1. Nebenserie.

| $\lambda$ | Korrektur | $\lambda'$ | $n = \frac{1}{\lambda'}$ | Differenz | Ordnungszahl |
|---|---|---|---|---|---|
| 5220,041<br>5218,170<br>5153,226 | 1,426<br>1,426<br>1,409 | 5221,467<br>5219,596<br>5154,635 | 19151,706<br>16158,570<br>19400,016 | 248,310<br>(248,5) | 4 |
| 4063,296<br>4062,694<br>4022,667 | 1,125<br>1,125<br>1,115 | 4064,421<br>4063,819<br>4023,782 | 24603,750<br>24607,395<br>24852,241 | 248,491<br>(248,8) | 5 |
| 3687,5<br>3654,3 | 1,030<br>1,020 | 3688,530<br>3655,320 | 27111,071<br>27357,386 | 246,315<br>(252,8) | 6 |

2. Nebenserie.

| λ | Korrektur | λ' | $n = \frac{1}{\lambda'}$ | Differenz | Ordnungszahl |
|---|---|---|---|---|---|
| 4530,843 | 1,247 | 4532,090 | 22064,875 | 248,535 | 4 |
| 4480,376 | 1,234 | 4481,610 | 22313,410 | (248,5) | |
| 3861,755 | 1,073 | 3862,828 | 25887,769 | 248,424 | 5 |
| 3825,050 | 1,062 | 3826,112 | 26136,193 | (248,8) | |

1. Hauptserie.

| λ | Korrektur | λ' | $n = \frac{1}{\lambda'}$ | Differenz | Ordnungszahl |
|---|---|---|---|---|---|
| 3273,967 | 0,924 | 3274,891 | 30535,367 | 248,356 | |
| 3247,550 | 0,918 | 3248,468 | 30783,723 | (248,4) | |
| 5782,158 | 1,576 | 5783,734 | 17289,868 | 248,444 | |
| 5700,249 | 1,554 | 5701,803 | 17538,312 | (248,5) | |
| 4056,7 | 1,123 | 4057,823 | 24643,756 | 250,983 | |
| 4015,8 | 1,113 | 4016,913 | 24894,739 | (251,6) | |

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimen Regierungsrat Prof. Dr. H. Kayser für die gütige Anregung zu dieser Arbeit, sowie für das freundliche Entgegenkommen bei ihrer Anfertigung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

---

## Literatur.

1) H. Kaysers Handbuch der Spektroskopie **I, II, V u. VI.**

2) G. Kirchhoff, Berl. Akad. 1861. 63—95 und 1863. 227—240.

3) A. Mitscherlich, Poggendorffer Ann. **116.** 499—507. 1862.

4) R. Thalén, Nova acta reg. soc. sc. Upsala (3) **6.** 1868.

5) A. Cornu, C. R. **73.** 332—337. 1871.

6) J. Trownbridge and W. C. Sabine, Phil. Mag. (5) **26.** 342—353. 1888.

7) H. Kayser und C. Runge, Wiedem. Ann. **46.** 225—243. 1892.

8) J. R. Rydberg, Astrophys. J. **6.** 239—243. 1897.

9) W. Hartmann, Dissert., Halle 1807.

10) W. Ritz, Phys. Zeitschr. **9.** 521—529. 1908.

11) I. E. Eder und E. Valenta, Wien. Ber. **118.** IIa. 511—524. 1909.

12) A. S. King, Astrophys. J. **27.** 353—362. 1908.

13) O. Neovius, Bih. t. kgl. so. vet.-acad. Handlung **17.** I. Nr. 8. 1891.

14) H. Geißler, Zeitschr. f. wiss. Phot. **7.** 89—112. 1909.

15) P. B. Huber, Dissert., Freiburg 1909.

16) I. M. Eder und E. Valenta, Wien. Ber. **119.** IIa. 519—613. 1910.

17) Aug. Hagenbach und H. Veillon, Phys. Zeitschr. **11.** 833—847. 1910.

18) H. M. Randall, Ann. d. Phys. (4) **33.** 739—746. 1910.

19) H. Nagaoka and T. Takamine, Tôkyô, Sûgaku-Buturigakkwai Kizi (2) **5.** 278—284. 1910.

20) P. Joye, Ann. chim. et phys. (8) **21.** 148—197. 1910.

21) M. Aretz, Dissert. Bonn 1911.

22) F. L. Wagner, Dissert. Bonn 1911.

23) B. Dunz, Dissert. Tübingen 1911.

24) A. Harnack, Dissert. Leipzig 1911.

25) J. Barnes, Astrophys. J. **34.** 159—163. 1911.

26) J. H. Pollock, Proc. Roy. Dublin Soc. (2) **13.** 202—218. 1912.

27) H. Oellers, Dissert. Münster 1912, Zeitschr. f. wiss. Phot. **10.** 374—391.

28) R. J. Strutt und Fowler, Proc. Roy. Soc. A. **86.** 105—117. 1912.

29) H. Hertenstein, Proc. Roy. Soc. London A. **87.** 38—48. 1912.

30) Ch. Wali-Mahammad, Dissert. Göttingen 1912.

31) G. V. Morrow, Proc. Roy. Soc. Dublin (5) **12.** 269. 1912.

32) W. N. Hartley und H. Moss, Proc. Roy. Soc. A. **87.** 38—48. 1912.

33) H. Lehmann, Ann. d. Phys. (4) **39.** 53—79. 1912.

34) F. Exner und E. Haschek, Bogen und Funken 1912.

35) F. Klein, Dissert. Bonn 1913.

36) J. M. Eder, Wien. Ber. **122.** IIa. 607—633. 1913.

---

Für die Redaktion verantwortlich: Prof. K. Schaum in Gießen.

r.

1891.

1910.

847. 1910.

kwai Kiz

74—391.

912.

1912.

